

## 受領書

平成12年 8月18日

特許庁長官

識別番号 100059258

氏名(名称) 杉村 暁秀 殿

提出日 平成12年 8月18日

以下の書類を受領しました。

項番	書類名	整理番号	受付番号	出願番号通知(事件の表示)
1	国内書面	—	50001050723	PCT/US99/ 3491

以上

整理番号＝

提出日 平成12年 8月18日  
PCT/US99/03491 頁: 1/ 2

【書類名】 国内書面

【提出日】 平成12年 8月18日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【出願の表示】

【国際出願番号】 PCT/US99/03491

【出願の区分】 特許

【発明者】

【住所又は居所】 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92630 レイク  
フォーレスト ブロッサム パーク ストリート  
25621

【氏名】 ボグダン シー マグリッチ

【特許出願人】

【住所又は居所】 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92618 アー  
ヴィン モーチリー ドライヴ 10

【氏名又は名称】 ハイエナジー マイクロデバイス インコーポレイテ  
ッド

【代理人】

【識別番号】 100059258

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 暁秀

【選任した代理人】

【識別番号】 100072051

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 興作

【選任した代理人】

【識別番号】 100098383

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 純子

整理番号＝

提出日 平成12年 8月18日  
PCT/US99/03491 頁: 2/ 2

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015093

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書の翻訳文 1

【物件名】 図面の翻訳文 1

【物件名】 要約書の翻訳文 1

【書類名】 明細書

【発明の名称】 亜原子粒子による活性化法を用いた、化合物の検出、位置決めおよび分析の方法および装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 禁制品に複数の亜原子粒子を照射することによって禁制品が存在するか否かを検出するシステムであって、該システムは、

複数の第1の亜原子粒子を発生する亜原子粒子発生装置と、

上記禁制品の照射によって発生する光子を検出し、複数の第1の電気信号を発生することが可能な少なくとも1つの光子検出装置と、

上記禁制品の照射によって発生する $\alpha$ 粒子を検出し、複数の第2の電気信号を発生することが可能な少なくとも1つの $\alpha$ 粒子検出装置と、

該少なくとも1つの光子検出装置と該少なくとも1つの $\alpha$ 粒子検出装置とに作動連結している分析装置とからなり、該分析装置は、

該複数の第1の電気信号をフィルターにかけて、興味のない光子エネルギーと関連する信号を除去し、それによってフィルターを通過した複数の電気信号を出すプロセッサと、

該フィルターによって取出した複数の電気信号と該複数の第2の電気信号との間で生ずる複数の同時回路とからなる、禁制品が存在するか否かを検出するシステム。

【請求項2】 他の物質によって遮蔽された爆発物を検出するシステムであって、該システムは、

複数の第1の亜原子粒子を発生しかつ該爆発物と該他の物質とに第1の亜原子粒子を照射する亜原子粒子発生装置を具えた、地上移動運搬装置と、

上記爆発物の照射によって発生する光子を検出することが可能な少なくとも1つの光子検出装置と、

上記爆発物の照射によって発生する第2の亜原子粒子を検出することが可能な少なくとも1つの亜原子粒子検出装置と、

該少なくとも1つの光子検出装置と少なくとも1つの亜原子粒子検出装置とから出力される信号に基づいて爆発物を検出することが可能な分析装置とからなる爆

発物検出システム。

【請求項3】前記爆発物は、埋設された地雷である、請求項2のシステム。

【請求項4】前記分析装置は、地上移動運搬装置から離間して搭載されている、請求項2のシステム。

【請求項5】前記地上移動運搬装置は、遠隔制御される、請求項2のシステム。

【請求項6】化学物質が存在するかどうかを検出するシステムであって、該システムは、

複数の第1の亜原子粒子を発生しかつ該化学物質に第1の亜原子粒子を照射する粒子ソースと、

上記化学物質の照射によって発生する光子を検出することが可能な少なくとも1つの光子検出装置と、

上記化学物質の照射によって発生する第2の亜原子粒子を検出することが可能な少なくとも1つの亜原子粒子検出装置と、

該少なくとも1つの光子検出装置と少なくとも1つの亜原子粒子検出装置とから出力される信号に基づいて化学物質を検出することが可能な分析装置とからなる化学物質検出システム。

【請求項7】前記第1の亜原子粒子が中性子である、請求項6のシステム。

【請求項8】前記中性子が1 MeV以上のエネルギーレベルを有する、請求項6のシステム。

【請求項9】前記少なくとも1つの亜原子粒子が $\alpha$ 粒子である、請求項7のシステム。

【請求項10】前記粒子ソースが、少なくとも1つの亜原子粒子ソースと少なくとも1つのターゲットからなり、該亜原子粒子は水素同位体であり、かつ該同位体は少なくとも1つのターゲット上に衝突して中性子を発生する、請求項9のシステム。

【請求項11】前記光子検知装置は、 $\gamma$ 線を検出することが可能なゲルマニウム結晶検出装置である、請求項9のシステム。

【請求項12】前記亜原子粒子検出装置はシンチレーション検出装置である、請求項9のシステム。

【請求項13】前記分析装置が、前記亜原子粒子と前記光子検出装置との間の同時を検出する、請求項6のシステム。

【請求項14】前記分析装置によって検出された同時性を電子的に処理して興味のないスペクトル線を除去する、請求項13のシステム。

【請求項15】前記分析装置は前記化学物質中に存在する複数のある構成原子の比率を分析して、該化学物質を検出する、請求項13のシステム。

【請求項16】前記構成原子が炭素、窒素及び酸素である、請求項15のシステム。

【請求項17】前記化学物質が爆発物である、請求項16のシステム。

【請求項18】前記少なくとも1つの光子検出装置と前記少なくとも1つの第2の亜原子粒子検出装置を用いて前記システムに関する化学物質の位置に関する情報を提供する、請求項9のシステム。

【請求項19】1以上の亜原子粒子からなる粒子線を用いて物体内に位置する化合物が存在するかどうかを検出する方法であって、該方法は、

該化合物及び該物体から核放射線を誘起する該粒子線を該物体に当て、

該物体及び該化合物から出る核放射線を検出し、

該検出した核放射線を処理して興味のない放射線を実質的に除去し、

上記処理によって除去されなかった検出核放射線を分析することによって該化合物を検出することからなる、検出方法。

【請求項20】前記核放射線を検出する工程は光子を検出する工程及び $\alpha$ 粒子を検出する工程を含む、請求項19の方法。

【請求項21】前記検出した核放射線を処理する工程は光子エネルギーに基づいて検出した放出光子をフィルターにかける工程を含む、請求項20の方法。

【請求項22】上記処理によって除去されなかった検出核放射線を分析することによって前記化合物を検出する工程は該化合物内の興味ある、ある種の原子の相対的比率を分析する工程を含む、請求項21の方法。

【請求項23】ある種の原子の相対的比率を分析する工程は、Dalitz三角形を用いて炭素、窒素及び酸素の相対的比率を決定する工程を含む、請求項22の方法。

【請求項24】複数の第1の亜原子粒子からなる粒子線を用いて他の物体内に位置する化合物が空間的に存在するかどうかを検出する方法であって、該方法は、

該化合物及び該物体から複数の第2の亜原子粒子及び放出光子を誘起する該粒子線を該物体に当て、

該物体及び該化合物からでる核放射線を検出アレイを用いて検出し、該検出アレイは複数の検出エレメントを有し、各検出エレメントは該物体に対して既知の空間関係にありかつ第2の亜原子粒子を検出することが可能となっており、

該物体及び該化合物からでる放出光子を検出し、  
該検出した放出光子を処理して興味のない放射線を実質的に除去し、

上記処理によって除去されなかった検出放出光子を該検出第2の亜原子粒子放射線と関係付けを行い、

該検出エレメントの既知の空間的關係に基づいて化合物の空間的位置を決定する、該化合物の空間的位置の検出方法。

【請求項25】前記化合物の空間的位置を決定する工程は、複数の位置ラインの最近接交点を計算する工程を含む、請求項24の方法。

【請求項26】対象物によって放出された亜原子粒子の検出が各々可能な複数の検出エレメントと、

該対象物によって放出された光子を検出することが可能な少なくとも1つの光子検出装置と、

所定のパラメータに基づいて該光子検出装置によって検出した光子をフィルターにかけることが可能な電子フィルターと、

該複数の検出エレメント及び該少なくとも1つの光子検出装置との間に形成された複数の並列同時チャンネルとからなり、該同時チャンネルは亜原子粒子の前記検出と光子の該検出との間の同時性を決定することが可能となっている、同時決定システム。

【請求項27】前記亜原子が $\alpha$ 粒子であり、前記所定のパラメータが光子エネルギーである、請求項26のシステム。

【請求項28】前記検出エレメントが前記少なくとも1つの光子検出装置に対して既知の空間関係にあり、それによって前記対象物の空間的位置決めをすること

が可能となる、請求項26のシステム。

【請求項29】 複数事象内の同時性を検出する方法であって、該方法は、

対象物から出る複数の第1の有体物の放出を誘起し、

対象物から出る複数の第2の有体物の放出を誘起し、前記放射された複数の第2の有体物は一時的に前記放射された複数の第1の有体物の少なくとも一部分とオーバーラップし、

前記対象物から放出された該複数の第1の有体物を検出し、

前記対象物から放出された該複数の第2の有体物を検出し、

該検知された複数の第2の有体物を処理して、興味のない第2の有体物を同定しかつ実質的に除去し、

該処理によって除去されなかった検出された第2の有体物と該第1の有体物とを関係付ける、検出方法。

【請求項30】 前記関係付けをする工程が、所定の同時窓内で、前記複数の第1の有体物を検出する工程と前記複数の第2の有体物を検出する工程との間の同時性を検知することが可能な複数の並列同時回路を形成する工程を含む、請求項29の方法。

【請求項31】 前記第1及び第2の有体物の放出を誘起する工程は、それぞれアルファ粒子の放出を誘起する工程と光子を誘起する工程からなる、請求項29の方法。

【請求項32】 化合物から複数の光子の放出を誘起し、

該化合物によって放出された該複数の光子を検出し、

検出した複数の光子を処理して興味のない光子を同定して実質的に除去し、

上記処理によって除去されなかった上記検出された複数の光子から該化合物内の複数のある構成原子の相対割合を決定し、

該複数の構成原子の相対的比率に基づいて該化合物を同定する、粒子を活性化することによる化合物の同定方法。

【請求項33】 前記光子の放出を誘起する工程は、前記化合物に中性子を衝突させることによる、請求項32の方法。

【請求項34】 前記複数の光子を表す複数のアナログ信号を出力し、



該アナログ信号をデジタル信号に変換し、

該デジタル信号を電氣的にフィルターにかけて所定の基準を満足しないデジタル信号を除去する、請求項32の方法。

【請求項35】前記デジタル信号をフィルターにかけることを、光子のエネルギーレベルに基づいて該デジタル信号をフィルターにかけることによって行う、請求項34の方法。

【請求項36】ある種の構成原子の相対的比率を決定することを、

興味ある第1のタイプの原子に関連する複数のエネルギーバンドを同定し、

該エネルギーバンドの一つのエネルギーバンドと関連する振幅を該エネルギーバンドの少なくとも1つの他のエネルギーバンドの振幅と関連付けて振幅の差を求め、

該振幅差に基づいて該特定タイプの原子に関連する多数の検出事象を決定し、

興味ある1乃至それ以上の残りのタイプの原子について同定、関連付け及び決定行為を繰り返すことによって行う、請求項32の方法。

【請求項37】化合物を同定を前記相対的比率に基づいて前記化合物の化学式の実験式を数学的に出力することによって行う、請求項32の方法。

【請求項38】各辺が特定の構成原子を三角形であって、該三角形の各辺の法線の長さが前記化合物の原子密度の2乗に比例している三角形を付与し、

各々ヘッドを有しかつ該三角形のそれらに対応する辺に垂直である3つのベクトルであって、該ベクトルの大きさが前記相対比率に関連する3つのベクトルを発生し、

各ベクトルのヘッドとその他のベクトルとの距離が最小になるように該ベクトルを翻訳し、該ベクトルのヘッドのすべてが包含される円を定義し、

該三角形内の該円の位置に基づいて該化合物を同定することによって前記実験式を数学的に出力する、請求項37の方法。

【請求項39】粒子活性化により化学的検出システムの性能を測定する方法であって、

既知量の既知化学物質を付与し、

該既知量の化学物質を該化学的検出システムに対する既知の位置の既知の環境

に置き、

該検出システムを用いて、第1の検出時間を決定し、

該量の化学物質の該既知環境あるいは該既知位置を変化させ、

該検出システムを用いて、該量の化学物質の第2の検出時間を決定し、

該第1及び第2の検出時間に基づいて性能ファクターを導き出す、粒子活性化による化学的検出システムの性能の測定方法。

【請求項40】前記第1及び第2の検出時間に対する信頼レベルを特定することを含む、請求項39の方法。

【請求項41】前記検出時間を所定の数値に対して標準化することを含む、請求項39の方法。

【請求項42】前記信頼レベルを特定することが、前記検出システムに対して最小の検出時間を特定する閾値信頼性レベルを確立することを含む、請求項40の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、亜原子粒子の活性化法を用いた、化合物の検出および分析、特に爆発物、神経ガス類、禁制品およびその他化合物の検出、同定および空間的な位置決め分野に関する。

【0002】

【従来の技術】

未爆発の対人（AP）／対車両地雷および化学兵器に関する多様な社会問題については、よく知られており、文書化されている。こうした問題は、とりわけ、疑いを持たない一般市民たちによる、多くの場合戦闘中止の何年も後になった、こうした装置の不慮の接触爆発を含む。20世紀後半現在、地表の膨大な部分にこうした装置がはびこっており、そのゆえ広い地帯に渡ってが使用不可となっている。

【0003】

地雷に加えて、砲弾、ロケット、手榴弾およびその他の弾頭の形で、未爆発の

化学兵器が大量に備蓄されている。こうした兵器には、サリンのような極めて有害かつ死に至る可能性のある種々の化合物が含まれる。また、その内容物の表示や分析方法は、概して記載がされておらず、その結果、実に非効率的で危険な処理を行うこととなる。

#### 【0004】

さらに、薬物禁制品（例えば、コカイン、ヘロイン、マリファナおよびPCPのような禁止薬物、またはアルコール）が、日々世界中で生産され、配布されている。こうした物質は、概して、警察当局による絶え間ない監視、調査、介入のみならず、医療やリハビリの費用の増大をも含んだ甚大な悪影響を社会にもたらす。

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

前述の化学物質の検出、物理的位置決めおよび分析するための従来の技術は、かろうじて効果があるという程度であった。X線分析、磁気共鳴映像法（MRI）、化学的「嗅覚探知機」および目視点検のような、さまざまな異なった技術が今日まで用いられてきたが、いずれも種々の重大な不可能な問題を抱えており、そのため有効性が減少している。例えば、X線法では、物体の形や場所に関する情報のみ与えることはできても、広い面積の調査（野原に埋められた地雷や巨大なコンテナ貨物の調査など）には有益ではない。さらに、これらの技術では、同定した物質が危険かどうかを判別するのに、その後侵入手段を用いることを必要とする。したがって、こうした技術では、非常に高い割合で「誤警報」となってしまう。薬物嗅探知機は、極めて限られた状況下では有効であるが、非透過性の容器に化合物を入れ、適切に封をすれば容易に破られてしまいうし、また多くの用途には実用的ではない。最近では、放射線を用いたより有望な検出および分析方法（米国特許第5、098、640号「高速中性子放射化を用いた禁制品検出の装置および方法」に開示されているような、いわゆる「高速中性子による活性化法」即ちFNA法を含む）が開発されているが、こうした方法は、空間およびγ線スペクトルの分解能が低いこと、サイズが大きく、重く、複雑であるという点も含め、それ自身の多数の問題点を未だに抱えている。こうした装置に関する重

大な問題のひとつは、検出装置－検出装置（あるいは計数装置－計数装置）の同時発生原理に基づいて作動する、従来技術の亜原子粒子の同時回路を使用することに関連する。この方法では、計数器で発生した全 $\gamma$ 線領域を分析する必要があり、したがって、単位時間あたりに中程度の検出事象しか分析しない場合であっても、途方もない信号処理能力を必要とする。その最終結果は、薬物同定の正確性と信頼性が低下すると同時に、放射／計数時間が非常に長くなる（それに対応して、入射粒子フラックスが低下する）。加えて、この装置に使われているシンチレーション検出装置のエネルギー分解能が低いため、特定のスペクトルを有する人工物の同定を妨げてきた。こうした不可能な点については、次章にてより詳細に論ずる。

#### 【0006】

#### FNA誘起 $\gamma$ 線を用いた化学的検出および同定

$\gamma$ 線を用いて爆発物およびその他の禁制物質を化学的に定量分析するのに主要な要件が2つある。すなわち、(i)  $\gamma$ 線エネルギーを正確に分解する能力（約0.5%以上の分解能が必要）(ii)  $\gamma$ 線事象の時間的な分解能力（約3ナノ秒以上の分解能が必要）。従来技術によるFNA装置は、エネルギー分解能を犠牲にして、時間分解能の良いもの（通常1ないし2ナノ秒）を選択することを特徴としていた。例えば、従来技術の典型的ヨウ化ナトリウム・シンチレーション検出装置は、10%のオーダのエネルギー分解能がある。この比較的低いエネルギー分解能のために、従来技術による $\gamma$ 線スペクトル分析を基にした禁制品検出装置は、被疑物体の定量的組成分析を行うことは出来なかった。むしろ、この装置は、禁制品を可能性として示すある種の成分が存在（あるいは優勢）していることのみを検出するにすぎないので、「警告」信号を与えることになる。この警告信号もまた、査問対象物の侵入検査が必要であり、X線禁制品検出装置よりは減っているものの、それでもなお非常に高い割合（ある概算では90%以上）で誤検知となってしまう。シンチレーション検出装置とは対照的に、高純度ゲルマニウム検出装置（HPGD）は、0.1ないし0.3%のオーダのエネルギー分解能である。しかし、電荷収集時間により決まる不感時間は、およそ200ナノ秒である。この不感時間は、前述の高時間的分解能の必要性と相容れないもので

あった。

#### 【0007】

化学的検出装置のもう一つの重要な能力判定基準は、検出速度あるいは発見時間である。実用される検出装置では、短時間に予定数の禁制品を検出および認識することができなければならない。例えば、約1秒間に1kgの爆発物を検出すれば、実際この装置をほとんどすべての用途に使用することが可能となろう。電子的には、この性能レベルには、高速データ集積速度を必要とする。 $\gamma$ 線分析により爆発物を認識するために十分な統計的サンプルを取るには、秒当たり（「ノイズ」に由来するものを除いた上で）少なくとも10,000 $\gamma$ 線事象が完全に計測および処理されなければならない。従来技術の $\gamma$ 線を用いた禁制品検出装置では、1kgの爆発物に対し1時間程度の検出時間、即ち、前述の望ましい1秒間の3600倍の時間がかかることが示す。それゆえ、多くの用途に対して非実用的となっている。この劣悪な検出時間は、2つの独立した要因により一般的に引き起こされている。(i)  $\gamma$ 検出装置の「不感時間」。(ii) 真の同時性と偶発的同時性とを区別できなくするような、分解能時間内に2以上のパルスが届いた場合の同時性の「停滞」。こうした要因につき、以下により詳細に記述する。

#### 【0008】

##### 「不感時間」

HPGDの「不感時間」とは、電荷収集時間のことであり、通常200ナノ秒である。この値は、毎秒5百万事象という検出装置の理想的（非無作為）な最大計数速度を意味している（すなわち、事象当たり1秒/200 E-09秒=5 E06事象）。しかし、実用的最大計数速度あるいは無作為性を考慮に入れた速度は、約100倍も遅い。すなわち、エネルギー分解能（0.1%）を同じと仮定して、およそ毎秒50,000事象である。従来、不感時間は検出装置固有の属性であると考えられてきたため、従来技術の検出装置は、こうした範囲に限定されてきた。

#### 【0009】

##### 「停滞」

「停滞」は、2つの検出装置の間の偶発的同時性としても知られているが、こ

れは次の関係で表される。

$$N_a = t_r \times CR_1 \times CR_2 \quad (\text{式1})$$

ここで、

$N_a$  = 偶発的同時性率

$t_r$  = 事象分解時間

$CR_1$  = 検出装置1の瞬間計数速度

$CR_2$  = 検出装置2の瞬間計数速度

ヨウ化ナトリウムは、優れた分解時間（3ナノ秒のオーダー）であるが、2つの計数時間がおよそ $10^{-8}$ に達すると、停滞が起きる。すなわち、その時点で偶発的同時性速度が真の同時性速度に同じになり、それを超えると真の速度よりも2次方程式的に増加していく。これは、中性子の産出速度が毎秒 $4\pi$ ステラジアン（すなわち全球）に $1E06$ 個であり、この速度は望ましいとされる前述の1秒間で禁制品を検出する場合に必要とされる以上の約3,600未満の $\gamma$ 線を与えるということを容易に示すことができる。したがって、従来技術の約3,600倍の速度（偶発計数レベルが10%といった予定値以下に保たれている一方）で動作する検出装置では、1秒という認識時間が必要である。

#### 【0010】

さらに、従来の技術は、検出装置－検出装置の同時性回路（すなわち、一方の検出装置で発生した事象と他方の検出装置で発生した事象との比較）を利用しており、これが前述の問題をさらに悪化させるということに留意すべきである。

#### 【0011】

それゆえ、要するに、物理的な位置や容器にかかわらず、非侵入的に有害な化学物質の検出、位置決めあるいは分析を行う、効率的、正確かつ安全な方法あるいは技術は現時点では存在しないのである。非侵入的方法を用いて、物体あるいは領域を迅速かつ正確に検査し、1) 被疑物のある3次元（「X、Y、Z」）あるいは空間的场所を決定するため、および2) 被疑物を爆発物、神経ガス、化学兵器あるいは禁制品として化学的に同定するための装置および方法が必要とされている。

#### 【0012】

## 【発明の詳細な説明】

本発明は、爆発物、神経ガス、化学兵器および禁制品のいずれかとして非侵入的に同定することを目的として、化合物の検出、位置決めおよび化学固有の分析のための改良された装置を提供することにより、また、エネルギー、時間および空間の高い分解能と高検出速度を持った、該装置の操作方法を提供することにより、前述の要求を満たすものである。さらに、該装置および他に存在する検出／分析装置の効率の標準化測定装置および方法を公開した。

## 【0013】

本発明の第1の視点としては、改良された化合物検出、検索、位置決めおよび分析の装置を開示している。本装置の最初の実施態様では、少なくとも1種類の原子を含んだ励起ビームが、少なくとも1つの、特別に構成した標的に衝突させるために用いられている。それによって、標的からおおむね反対方向に発せられた亜原子粒子の流れが作られる。本実施態様では、標的から発せられた中性子および $\alpha$ 粒子（標識高速中性子）が用いられているが、他の粒子や放射線があるいは使えるかもしれないということは十分理解するものである。検査する対象物あるいは領域を発生した中性子フラックスに曝すが、中性子フラックスの高エネルギー中性子群は該対象物中の何らかの爆発物、化学兵器／神経ガスあるいは禁制品の核原子（この例では、炭素、窒素あるいは酸素であるが、他のものを選択することもできる）と相互作用し、その結果、 $\gamma$ 線の形で即発量子を発生させる。少なくとも1つの $\gamma$ 検出装置を検査する対象に相対して置き、このように放出された量子を検出する。続いて、この放射量子を分析して試験対象物中にある元素原子比率の同定をする。さらに、少なくとも1つのシンチレーション（あるいは類似の）検出装置を $\alpha$ 粒子フラックスの立体角内に配置して、前述の $\gamma$ 検出装置で検出された $\gamma$ 事象と同時に発生する $\alpha$ 粒子を検出する。

## 【0014】

前述の装置の第2の実施態様では、磁場または電場（「セプタム」）を印加して帯電粒子ビーム中にある個々の種類の原子を分離することによって、少なくとも1つの標的を励起する。本実施態様では、中性子と $\alpha$ 線の粒子の複合（しかし、空間的には別個の）流れを作り、それによって異なった相対角で中性子を検査

対象に衝突させる。一方、空間的に幅広いビームを発生し、複数の標的に交差させることにより、何ら場を印加することなしに、ビームの「分離」を行う。この中性子/ $\alpha$ 粒子の複数流（または単一の幅広いビーム）および対応する $\alpha$ / $\gamma$ 検出装置を使用することにより、検査対象物中の有機化合物を空間的により正確に位置決めを行うことが可能になる。

#### 【0015】

本発明のもう一つの視点は、改良された化合物の位置決め装置および方法を開示している。上述の即発 $\gamma$ 線放射を誘導する粒子の一般的技術を利用して、少なくとも1つの $\gamma$ 検出装置を検査対象に対し既知の物理的距離で近づけて置く。少なくとも1つの $\alpha$ 粒子検出装置を同様にして標的に対し概ね近接して置く。 $\alpha$ 粒子検出の事象と誘導即発 $\gamma$ 線検出の事象の時間差（ナノ秒の単位）は、既知の中性子と $\alpha$ 粒子の速度、回路および検出装置で起きた遅れ、および励起ビームパルスの持続時間を基に、放射化合物と標的の間の軸（視野方向あるいは「Z軸」）距離を大まかに決めることが出来る。軸外（X-Y）位置の決定同様に、大まかな軸位置は、前述の $\gamma$ 検出装置するアレイにより得られたデータを多節点幾何学分析することにより、さらに精度を上げられる。該多節点幾何学解析は、いずれの数の位置線でも利用することができる。

#### 【0016】

本発明の第3の視点は、改良された同時性検出装置および方法を開示する。 $\alpha$ 粒子検出装置アレイは、前述の中性子を発生する標的に対しおおむね隣接して形成される。対応する標的と、アレイの個々の検出装置との位置関係を知ることにより、検査対象中で起きる個々の即発 $\gamma$ 事象（爆発物に関連したある種の「署名」元素に特徴的な特定の元素の $\gamma$ 線の「線」に関連する）は、 $\alpha$ 検出装置アレイでの個々の検出事象と相互に関連付けることができる。それにより、検査対象中の $\gamma$ 線放射源の空間的位置を確定し、並行処理により、事象の処理速度を大幅に向上することができる。

#### 【0017】

本発明の4つ目の視点は、改良された $\gamma$ 線検出、 $\gamma$ 線フィルタおよび分析の装置および方法が開示する。ゲルマニウム結晶検出装置は、検査対象内での即発 $\gamma$



線事象を検出するのに使かわれる。ゲルマニウム検出装置は、 $\gamma$ エネルギー分解能を向上させ、それにより何百もの $\gamma$ 線の「バックグラウンド」からC : N : O（あるいは他の元素群）の複合スペクトル線を識別することができるようになる。高分解能 $\gamma$ 線スペクトルは2進数表現に分解され、それぞれの線に、その $\gamma$ エネルギーレベルを表す、異なった2進数（「バイン」）を割り当てる。次いで、選択したタイプ／エネルギーの入射粒子流についての炭素、窒素および酸素に関連した既知の線（バイン）を更に処理し、他の関係のない線はフィルタ除去する。こうしたやり方で、C : N : Oに関係あるピークのみがフィルタ処理の段階で残るため、付属の信号あるいはデータ処理機器の計算負荷は大幅に軽減される。

#### 【0018】

本発明の更なる視点は、改良された、粒子活性化法を用いた化合物の同定方法を開示する。前段落で説明したフィルタ処理した $\gamma$ 線検出装置の出力信号は、改良された爆発物／化学兵器／神経ガス／禁制品の同定および分類をするアルゴリズムを実行する信号処理装置に入力する。このアルゴリズムは、よく知られている「Dalitz三角形」に基づいており、フィルタ処理した $\gamma$ 線スペクトルにより与えられるC : N : O（または他の元素類）の相対比率を計算することにより、検査対象中の活性化された化合物（爆発物、化学兵器、神経ガスまたは禁制品ではないかどうか）を同定する。得られたデータを評価するのに、統計的重み付けおよび誤差分析もまた使用される。

#### 【0019】

本発明の6つ目の視点は、粒子活性法を基にした検出／分析装置の有効性（有効数字）の測定ならびに校正のための改良装置および方法を開示する。発見時間定数（ $T_d$ ）は、粒子ソースからある距離離れかつ化合物と $\gamma$ 線検出装置とが一定の距離にある、ある量の化合物を、前述のDalitzの三角形上の関連点について規定された統計的信頼性レベルで、数学的に具体的に特定するのに要する計測時間として数学的に定義づられる。次いでベースラインシステム $T_d$ が作られ、それによって様々な試験条件下で様々な質量の試料を分析する際に、作動装置から受け取った実際のデータに対して比較基準が与えられる。次に、このような様々な試験条件下で計測された $T_d$ 値を用いて、校正や実地試験の際に装置に対して

有用な補正ファクターを出す。さらに、ある装置向けに実験的に算出された $T_{\alpha}$ 値は、様々な運転条件下での2つの装置の相対効率を求めるために、他の装置の値と比較される。

【0020】

【発明の実施の形態】

さて、図面について説明を行うが、類似の番号は全体を通して類似の部品を示す。

【0021】

検出、位置決めおよび分析装置

図1は、本発明の粒子検出および分析装置の最初の実施態様である。図に示す通り、少なくとも1種の重原子（ここでは、重水素およびトリチウムを含む水素の様々なイオン化同位体）を含んだ加速されたビーム10を用いて、少なくとも1つの特別に作られた標的18に衝突させる。その結果、標的18よりおおむね逆方向に、同時に、対となって発せられる重原子粒子（高速中性子14と $\alpha$ 粒子16）の流れが作る。MFフィジックス・コーポレーション製A-711型加速器のような、周知のタイプ従来あるいは改良型の荷電粒子加速器を発生ソース15として用いる。しかし、様々な同種の他の発生ソースを用いても同様の結果が得られるであろう。本実施態様では、励起粒子が連続的に標的に投射されるように発生ソース15は直流（DC）モードで運転する。このモードは、「長い」（0.1ないし10秒）不連続な時間間隔に変調可能あるいは不可とすることもできる。また、他の仕組みを使うこともできる。本文において、「長い」という語は、後述の1ないし100ナノ秒程度の同時性分解時間に関連して使っている。本実施態様で、中性子および $\alpha$ 粒子は標的より発せられているが、望ましい特性を持った他の重原子粒子あるいは放射線を適切に使用して、検査対象内に所望の結果を起こすこともできるということにも留意すべきである。検査される物体あるいは領域20に、発生した高速中性子フラックス14を浴びせる。このフラックスの活発な中性子は、対象物20中の何らかの爆発物、化学兵器／神経ガスあるいは禁制品22の炭素、窒素あるいは酸素（C：N：O）を有する分子と相互作用する。その結果、前述の物質の「証拠」として知られるC、NおよびOを特

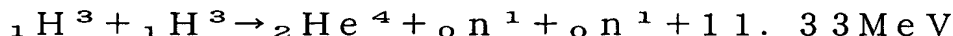
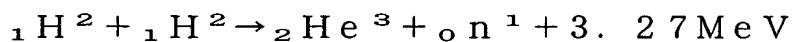
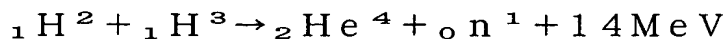
徴づける $\gamma$ 線24の形で、即発量子を発生する。さらに、これらの $\gamma$ 線24のエネルギーは、大体は不連続な値を取ることに留意すべきである。こうした放出量子を検出するために、少なくとも1つの、本分野で既知の高分解能 $\gamma$ 線検出装置26を検査する物質20に相対して置く。この放出量子は、続いて検査対象の中にある分子を同定するために分析される。加えて、前述の $\gamma$ 線検出装置26により検出された $\gamma$ 事象と同時に発生する $\alpha$ 粒子を検出するために、少なくとも1つの、この分野で既知のシンチレーション（あるいは類似の）検出装置28を $\alpha$ 粒子フラックス16の立体角内に配置する。その結果、2つの別の判定を可能とする。1)  $\gamma$ 線- $\alpha$ 線同時タイミング（非同期事象は除く）、と2) 空間的位置。本実施態様では、 $\gamma$ 線検出装置26として、ORTECコーポレーション製のNタイプ（耐中性子性）高純度（80%）ゲルマニウム検出装置が用いられている。ゲルマニウム結晶検出装置が好ましいが（下記に詳細に説明する）、例えばキセノンを使った検出装置等の他の型の高分解能検出装置を用いて、検査対象中の化合物の時間的、空間的位置の両方のために $\alpha$ 線および高速 $\gamma$ 線を同時性検出する所望の機能を得ることができることを留意すること。

#### 【0022】

本実施態様の標的18は、銅（Cu）基盤の上に蒸着した窒化スカンジウム層から構成されるが、どちらの物質も材料科学では既知の物質である。入射する重水素／トリチウムイオンのビーム10により適切に励磁されると、標的は、中性子（電荷は中性の核子）と $\alpha$ 粒子（イオン化したヘリウム原子核）の流れを発生するという望ましい特性を持つ。しかしながら、本用途に他の標的や材料を使うことができるというのは、十分に理解するところである。

#### 【0023】

以下に示した反応により、中性子が標的中でできる。



入射する重水素／トリチウムイオンのビーム10のエネルギーは十分大きく、標的物質原子の正に荷電した原子核との間のいかなるクーロン力の相互作用にも打

ち勝つようであればならないことに留意すること。0.05 MeV以上という重水素／トリチウムイオンエネルギーは、この目的に十分であることが分かっている。

#### 【0024】

その望ましい散乱特性（すなわち、原子核については非弾性散乱）と、鉄、土、砂、鉛、土壌および厚い層の水といった一般的な物質に50 cm程度の厚さ（ $1/e$ 相互作用長さ）まで貫通できる能力とのために、本実施態様において14 MeVオーダのエネルギーをもつ高速中性子を検査対象18に衝突させるのに用いる。14 MeVの中性子によりC、NおよびOでの $\gamma$ 線を産出のための断面積（ミリバーンで表す）は、そのエネルギーレベルにおいて中性子エネルギーとほとんど影響を受けないということに留意すべきである。それゆえ、実際の衝突エネルギーを知らなくても、こうした元素の相対濃度を高い精度で得られるのである。これが、低い中性子エネルギーを使う多くの従来技術の装置との違いである。従来技術の装置では、中性子のエネルギーごとにさらに多様な断面積をもっており、そのため正確な衝突エネルギーを知らずに相対化学寄与を計算することは実際不可能となるのである。しかし、こうした検討材料を無視すれば、本発明において装置の所望の運転特性に基づいて、14 MeV以外のエネルギーレベルの中性子を使うことができるということは分かっている。

#### 【0025】

ターゲットによって放出された中性子線14と $\alpha$ 粒子線16とは、所定の立体角 $\phi$ （ステラジアンで測定）で空間的に分散する。この立体角 $\phi$ は、ターゲットに対する荷電粒子線の入射角と関連し、中性子線14と $\alpha$ 粒子線16（最大中性子フラックス、 $\alpha$ 粒子フラックス）の各々の軸は実質的に互いに共通線上にあるが、ターゲット18に関して方向が全く逆になっている（図1参照）。種々の任意の配置を取ることが可能なこと理解されようが、各ターゲットは、固定するか、あるいは従来の電気・機械的位置決め装置21を介して励起ビーム10および試験物体20に関して独立に操作可能（調節可能）とすることもできる。このような位置決め装置は手動で制御することもできるし、あるいは後述する信号処理コンポーネントからの入力信号によって自動的に制御することもできる。このよう

に、例えば、走査する目的で、所定の立体角内で所望の中性子／ $\alpha$ フラックスが得られるように、発生した中性子線14及び $\alpha$ 粒子線30とを調節することができる。

#### 【0026】

本実施態様では、互いに既知の空間関係を有する複数のシンチレーションあるいは比較検出エレメント36のアレイ34によって $\alpha$ 粒子を検出することができる。図3に、64個の別個の検出エレメントからなる方形のアレイ（8 x 8）の配置を例示する。64個の検出エレメントの各々のエレメントは、一本の光電子倍增（“PM”）管あるいは1本の大型PM管に埋設された64個のセグメント化した陽極のうちのひとつの陽極によって視覚的に捕らえる。個々の検出エレメントがそれと結んだターゲット18に対して所定の立体角 $\phi$ を与えるように、該アレイ4をターゲットに対して既知の位置に配置する。従って、励起することによってターゲットから発生する早い中性子と $\alpha$ 粒子との間には実質的に共通な直線関係がある。ゆえに、類似であるが逆の立体角内で試験対象物内で生ずる中性子誘起事象の軌跡と個々の $\alpha$ 粒子の検出とを、直接関連付けることができる（図1参照）。

#### 【0027】

また、本実施例では、ホウ酸塩で処理した（あるいは、それに匹敵する中性子吸収あるいは緩和材料）を用いて、システム内で発生した重水素／中性子／ $\alpha$ 線から装置近傍にある人及び装置を遮蔽するとともに、さらに図1に示すように所望により中性子線14を平行にしていることも留意すべきである。

#### 【0028】

とりわけ、地雷の検出及び同定、砲弾の分析、あるいは図2 aに示すように、禁制品について空港でのバッグキャリアーの分析も含め、本実施態様（並びに後述する実施態様）は種々の異なった用途及び地形に対して適合可能であることに留意する。地雷や大砲シェル等の埋設あるいは別の手段で遮蔽された爆発物を検出する観点からは、比較的効率的に地形を広範な部分にわたり簡単に調査する可能とするため、本発明では、運転者が直接あるいは遠隔で制御する機械技術で周知の形式の陸上移動搬送手段に対して容易に適合可能である（図2 b参照）。本発明では検出時間が非常に縮小される（数秒のオーダー）ので、このような地上移

動用途を可能とするが、一方従来の粒子活性化システムでは検出時間が比較的長かった（特有的には、数十分以上のオーダー）ので、従来装置を用いる場合にはこのような用法は可能ではなかった。理想的には、このような地上移動運搬手段は、例えば、延長可能な支柱あるいはアーム（図示せず）上の、運搬手段の車台から物理的に取外せるソース15と、ターゲット18と、検出装置26、36とからなる。他の配置も可能でありかつ本発明の範囲内にはいるが、これらの構成要素と運搬手段との間に十分な距離を保つことが可能なので、運搬手段への損傷の機会を減少する。

#### 【0029】

上記装置の第2の実施態様（図4に示す）では、ビーム路に沿って誘起される磁場40を印加することによって励起ビーム10に存在する個々の原子種を分離することにより、2以上のターゲット18を励起可能とする。詳しく述べると、上記ソース15によって生成される励起ビームは、重水素及びトリチウムイオンを含め、原子質量数が異なる複数の原子種を含む。物理化学ではよく理解されているように、磁場を通過する荷電粒子は偏力をうけ、その大きさ及び方向は粒子の電荷、質量、及びその所定位置での磁場ベクトルの強度及び方向によって決まる。従って、異なった原子量で運動エネルギーが同一の複数の粒子は、同一の磁場を利用すると、異なった半径の複数の湾曲路に沿って偏移さす。本実施態様では、異なった種を2つの異なったターゲット18に衝突することを可能とするように、垂直な磁場40を用いて、2つの原子種を変位する。他の方法及び配置（例えば、静電デプレション）を用いても同じ成果が得られるであろうが、励起ビーム路10のすぐ近傍に配置した本技術で周知の形式の従来の、即ち超伝導電磁石を用いることによって磁場を発生させる。前述したように、複数の荷電励起粒子が2つの空間的に異なったターゲットに衝突することによって、発生した両方の速い中性子線14を同一の試験物体あるいは領域に同時に指向させる。このような「双眼鏡」装置により、試験物体の内部の $\gamma$ 線放出化合物の空間的分解能を三角法によって向上することができる。即ち、試験対象物20内の2つ線の交点（あるいは、広がる立体角）を計算することによって放出位置を決定する。このようにして、各中性子の飛翔時間を測定して、通常の方法でZ軸の座標を決定するこ

とを回避でき、またX、Y及びZの正確な値が直接求められる。なかんずく、本発明の双眼鏡装置をもちいることによって、実際1 cm以下のオーダの空間的分解能を達成できる。

#### 【0030】

あるいは、(i) 素粒子物理学では周知のように静電隔膜を用いて、あるいは(ii) 図5に示すようにビームを空間的に広げかつ複数のターゲットを用いビームの一部を交差させることによって、励起ビーム10を分離した後複数のターゲットに当ててもよいことに留意すべきである。これらの方法を用いることによって、ビーム10を1種あるいはそれ以上の種とすることもできる。

#### 【0031】

図6に示すさらに別の実施態様では、2個あるいはそれ以上の重陽子ソースを用いて複数のターゲット18を励起し、それによってターゲットに対して中性子の放出を誘起する。本実施例では、上記磁場40（及び該磁場を発生するのに必要な支持構造）あるいは広範な粒子線を適用する必要性を除去する。試験対象物20内での興味ある化合物を空間的に位置決めする装置の能力を最適化するため、複数の重陽子ソースを物理的に配置し、連続（「長い」）モードあるいは調整モードのいずれかで同様に作動させる（このような調整パルスは、システムの所望の性質に従って、時間的に同時あるいは前後させる）。

#### 【0032】

次に図7を参照すると、本発明の化合物の検出・位置決め・分析装置の別の実施態様を示す。試験対象に対して複数の $\gamma$ 線検出装置26を物理的に近接した既知の位置に置き、1個あるいはそれ以上の $\alpha$ 粒子検出装置（図示せず）を概ね隣接した位置に配置してある。ターゲットを既知持続時間時間（典型的には0.1から20秒）のDC重陽子パルスによって励起し、 $\alpha$ 検出装置28によって検出した所定の $\alpha$ 粒子の検出事象（あるいは一連の事象）と $\gamma$ 線検出装置26によって検出した高速誘起 $\gamma$ 事象との間でのタイミングの差異を測定することにより活性化された化合物とターゲット18との間の軸方向（即ち、視線、即ち「Z軸」）の距離44をラフに決定する。他の装置を用いることも可能ではあるが、この決定は、本実施態様ではアルゴリズムで作動するデジタル信号プロセッサ（ある

いはマイクロプロセッサ)により行う。このようにラフな決定を行うために、既知の中性子及び $\alpha$ 粒子の速度、電子的に誘起した検出の遅れ、高速 $\gamma$ 線発生が遅れ及び励起ビームパルスの持続時間を考慮する。その後で上記 $\gamma$ 線検出アレイ26で得たデータを(三角法等のいずれかの数の位置線を用いて)多重ノード幾何分析によって前に計算したラフな軸方向の位置の精度をさらに上げる。さらに詳しく述べると、複数の $\gamma$ 線検出装置の互いの検出装置及びターゲットに対する角度及び空間関係を知り、個々の検出事象間のカウント割合及び/またはタイミングの差を分析することによって、速い $\gamma$ 線が放出される位置(即ち、化合物)の位置を決定することができる。この装置でも、中性子の飛行時間(TOF)あるいは中性子の放出/入射角度を測定する必要がないという利点がある。

### 【0033】

次に図3及び図8に言及して、改良した同時検出装置及び方法を説明する。図3に示し前述した $\alpha$ 粒子検出装置の任意のアレイを、前述した中性子発生ターゲットに対して一般に近接して形成する。(試験対象物内の所定のタイプの原子から発生する早い $\gamma$ 線に対応する)予め選定した個々の $\gamma$ 線スペクトル線を分析装置39によって各 $\alpha$ 粒子検出装置のアレイエレメント36と電子的に関連付けて、複数の並列同時回路を形成する。特に、フィルルを通過後の $\gamma$ 線スペクトル(図8)に残存する $\gamma$ 線検出事象を、公称10ミリ秒のゲート窓を用いて、各 $\alpha$ 線検出装置のアレイエレメントに対する $\alpha$ 線検出事象と関連付ける。1つの実施態様では、(興味ある元素の放出線に対応して)1つのガンマー線カウンタ37と検出装置26とからの異なった別の約20本の $\gamma$ 線を選択して、 $\alpha$ 線検出装置のアレイ34の64個のエレメントの各々のエレメントと同時電氣的に配置する。このような配置によって、多数の並列同時チャンネルが形成される。例えば、本実施例では、4つの $\gamma$ 線検出装置26からなるセットと64個の $\alpha$ 線検出エレメント36とを使用している。下にさらに詳しく述べるように、選択した20本のスペクトル線の各々のスペクトル線は3つのほぼ4 KeVのバンド幅成分に分解されて、 $\gamma$ 線検出装置/カウンタ当たり $20 \times 3 = 60$ 個の独立のチャンネルを形成する。4個の検出装置が使用されているので、 $60 \times 4 = 240$ 本の独立したチャンネル全体が $\gamma$ 線検出アレイに関連付けられる。 $\alpha$ 線検出装置のアレイ34における



64個の $\alpha$ 線エレメント36と関連付けた場合、合計で15,360本の独立した同時チャンネルができる。これを同じ4/64アレイを用いて256本の独立のチャンネルだけしか形成しない従来の「検出装置-検出装置」の同時システムと対比されたい。本発明に係るこのように高度に並列同時回路構造によって、実質的に数が増えた高速 $\gamma$ 線事象の処理が可能となる。所望の20本前後のスペクトル線（本実施態様ではC:N:0）と関連付けた事象のみを $\alpha$ 粒子アレイ34で検出した事象とだけ関連付ける必要があるので、このような事象も高い並列度により処理されるからである。従って、検出装置-検出装置による同時（および $10^{-6}$  n/s-4 $\pi$ のオーダの最大中性子フラックス）を使用する従来のシステムに比較して、（ $10^9 \sim 10^{11}$  n/s-4 $\pi$ のオーダでの）より高密度の入射中性子フラックス14を用いることができ、また同一の試験条件下で所定の化合物を同定し分析するのに究極的にはかなり短い時間のみが必要となる。

#### 【0034】

本発明では、分析するために選択した $\gamma$ 線の親の原子を同定するためにガンマ線のエネルギーを正確に決定することが重要であることが認識されよう。分析のために使用するガンマ線のピーク及びスペクトル線を選択する場合に、いくつかのファクターが影響を与える。これらのファクターには、(i)ガンマ線のエネルギー、(ii)断面積、(iii)カスケード対フォトピーク、(iv)接近対重なり合い、及び(v)単一/二重エスケープ・ピークが含まれる。これらのピークについては、ここに添付する補遺Aで詳細に議論する。また、本発明の同時・検出回路では、随意ノイズ及び検出装置の効率を補正することもでき、1つの方法が補遺BとCとにそれぞれ記載されている。

#### 【0035】

本発明の同時検出装置の第2の実施態様では、38,400の同時回路（すべてが電子技術では周知の形式の1個の処理ICの信号処理能力内に包含される）を形成する。さらに詳しく述べると、アルファ粒子検出装置のアレイ34は640個の別個の検出エレメント36内に隔離され、 $\gamma$ 線検出装置26の出力は30個の異なったエネルギーバンド幅に分けられる。上記したように $\gamma$ 線検出装置の出力が分離すると、結果的に各 $\gamma$ 線装置はバンド幅上電子的に分離した検出装置として作

動する。従って、640個のエレメントからなる $\alpha$ 粒子アレイ34と単一の物理的 $\gamma$ 線検出装置(30個の「電子的」 $\gamma$ 線検出装置)によって、 $640 \times 30 = 19,200$ 個の同時回路の形成が可能となる。ルックアップ表を本実施態様の分析装置39内の標準のランダム・アクセス・メモリー(RAM)と連結して使用することによって、このような多数の同時回路を迅速に処理することが容易となる。加えて、本実施態様において各同時回路に上述の「事故的な」同時計数の責を負う人為的な遅延を行う並列同時回路を付与する。これによって、さらに19,200個の同時回路が形成される。従って、第2の実施態様で用いられる同時回路の総数は、 $38,400 (19,200 + 19,200)$ となる。

#### 【0036】

#### 化学的同定法

次に図9乃至図14に言及して、改良を行った $\gamma$ 線検出・フィルターかけ・分析装置及び方法について説明する。図に示すよう、純度の高いゲルマニウム(Ge)結晶検出装置(HPGDs)26を用いて試験対象物内から発生する高速 $\gamma$ 線を検出した。従来技術のシステムで典型的に使用されていたごくありふれたよう化ナトリウム検出装置(6~10%オーダ)とは異なり、ゲルマニウム検出装置によって、(0.1%のオーダの)より高い $\gamma$ 線エネルギー分解能が得られ、それによって、多重のC:N:Oの識別、即ち他のスペクトル線の識別が可能となる。図9は、従来技術のNaI検出装置を用いて得た典型的な $\gamma$ 線スペクトルを示す。検出ピークの幅はこの形式の検出装置のエネルギー分解能が比較的低いことに起因していることに留意。対照的に、本発明のGe検出装置から得られる $\gamma$ 線スペクトルは高い分解能を有するので、図10と図11に示す狭いスペクトルピークあるいは線によって明らかなようにエネルギー分解能は非常に向上する。本実施例では、電子技術では周知形式の従来のアナログーデジタル(A/D)変換装置31を用いて、 $\gamma$ 線スペクトル50を電子的にデジタル表示に変換する(図14)。各スペクトル線52にその $\gamma$ 線エネルギーレベルを示す別個の2進法の数値(「バイン」)を与える。次に、補遺Aに記載するように、入射粒子流の選択したタイプ/エネルギーに対する炭素、窒素及び酸素と関連する既知のスペクトル線を同定し、さらに処理し、一方他の関連性のない線54は(例えば、従来のデジタルフィルターを用

いて)、33にて電子的フィルターで除く。 $\gamma$ スペクトル線をデジタル化するために、各線について3つの同時回路を用いる。より詳しく述べると、本発明の一実施態様では、スペクトル線内の3つの等しい4 KeVのバンド幅、即ち、一つの「ピーク」バンド幅と2つ「肩部」バンド幅（図12a及び図12b参照）を分析することによって、C:N:Oと関連する上記の約20のスペクトル線の各々の振幅を決定する。ピーク対肩部の差を用いて、ピークの振幅を決定し、さらにDalitzプロットでの分析に供する。前述したように、ゲルマニウム検知装置は、他の形式の検知装置（例えば、よう化ナトリウム結晶）に比較して緩慢な応答時間を示すという特徴が有るため、それに対応して時間的分解能が低い。HPGDsは50,000カウント/秒オーダの（ランダム事象も含め）最大事象率で処理可能であると考えられる。本発明では、応答時間定数をより低い数値に効果的に変更する検出装置からの信号を電子的に処理する方法を使用することによって、このより遅い応答速度を補償している。より詳しく述べると、本実施態様では、ガンマ事象の立上がり時間の一部に対応するHPGD信号の部分を用いて時間応答性を決定する。この立上がり時間は典型的には1.5-4 nsであり、図13に示すように、事象が生ずる前のベースラインの上10%のポイントから事象のピーク値の下10%のポイントまで測定する。信号処理及び核検出技術では周知の一定分画識別装置（:CFD）によって立上がり時間の信号を処理する。次に、本実施態様の電化収集は20nsで電子的に停止する（「ゲート制御する」）。この構成によって、検出装置の「停止時間」は減少するので、Ge検出装置の実際の最大カウント率は実質的に上昇し、時間的分解能は増加する。

#### 【0037】

図10と図11は、化合物の所定のサンプルから得られたガンマ線スペクトルにおけるゲート効果を表すガンマ線の例である。図10には尿素試料からの公称40nsゲート間隔を用いバックグラウンドを除去して得たガンマ線スペクトルを示す。本実施態様では、図12bに関連して本補遺Dに記載した方法を用いてバックグラウンドを除去する。

#### 【0038】

図11には、バックグラウンドを除去せずに、5.9 nsのゲート間隔を用いて得られ

た同一の尿素試料のガンマ線スペクトルを示す（ゲートが狭いので、図11のスペクトルではバックグラウンドの除去は妨害を受ける）。図10と図11のスペクトルを比較すると、ゲート間隔が短いので時間的分解能があがることが主な要因で、信号対ノイズ割合（SNR）は図11のスペクトルではかなり向上していることが容易に分かる。従って、複雑なノイズ抑制を行ったりあるいはソフトウェアを操作することをせずに、ゲート間隔を短くすることによって性能がかなり向上する。

#### 【0039】

出願人が得た実験データは、ここで述べる技法を用いることによってゲート制御しないHPGDに対し100%から400%のオーダでカウント率を上げることが可能であることを示す。さらに、本発明のHPGDは、実際に禁制品の検出及び同定を同時に行う、即ち、高いエネルギー分解能と高い時間的分解能に対する両方の要請を満たすことができる。ここで20 nsで電子的にゲート制御するとエネルギー分解能は減少する（即ち、ゲイト制御しない場合は約0.1であるがゲート制御すると約0.3%となる）が、得られたエネルギー分解能は、本発明の方法での禁制品を同定する目的には十分すぎることに留意すること。公称間隔が20 nsでCFD実施の電子的ゲート制御を本実施態様で用いているが、他のゲート間隔、回路形式、技法を用いてガンマ線の検出信号の所望の部分を測定・利用することもできる。

#### 【0040】

さらに、関連するC:N:O（あるいは他のもの）のスペクトル線のみがフィルターステージを通過し検知された $\alpha$ 粒子事象と関連付ける必要があるだけなので、前述のフィルター及びゲート制御方法を用いることによって、付属の信号あるいはデータ処理装置におけるコンピュータ負荷を大幅に減らせ、かつ単位時間当たりより多くの個々のガンマ線検知事象を処理できる。高いデータ処理速度を有する「ルックアップ表」LeCroy Model2373あるいはそれに匹敵するもの等の従来のデジタル信号処理装置のいずれかの種類の装置を用いることによって、リアルタイムで得られるスペクトル信号56を処理することができる。

#### 【0041】

本補遺Eに、本発明で用いる上述の $\gamma$ 線の検出、選定及び処理方法が更に詳細に記載する。

【0042】

## Dalitz三角形

次に図15aと図15bとに言及して、粒子活性化法を用いて化合物を同定するための改良方法を説明する。前の段落で述べたフィルターを通過したデジタルガンマ線検出装置の出力信号を、3次元課題を2次元表現に変える改良型同定／分類アルゴリズムで作動する信号処理装置（例えば、前述のデジタル信号プロセッサ）に入力する。このアルゴリズムは、周知の「Dalitz三角」60、62に基づくもので、化合物の3つの元素の濃度を関係付ける。補遺F参照。更に詳しく述べると、等辺三角形60、62の各辺に対する法線の長さは、3つの元素の各原子密度の2乗に比例する。本発明のアルゴリズムは所定の積分時間中に集めたフィルタ通過デジタルガンマ線スペクトル56を取出し、2進法表示された（高速ガンマ線事象の検知数と関連する）スペクトル線の振幅に基づいて構成元素の相対比率を計算し、分析する各元素に対する三角形の相当辺に垂直なベクトルを数学的に発生する。図15b参照。周知の幾何学技法を用いて、すべての法線ベクトルについての交点66（あるいは最近接点）を計算し、単一の点あるいは領域を定める。する。次に、この点／領域を興味ある種々の既知の化合物と関連付けた点／領域の「ライブラリー」（例えば、従来のランダム・アクセス・メモリー（RAM））内に表の形で記録して置くこともできる）と比較して、検出した化合物を同定する。次に、所定のサンプル期間でガンマ線検出装置で集めたそれ以降のスペクトルを用いて、同定結果の信頼性レベルを統計的に上げる。統計的エラーバンド68（例えば、通常あるいはガウス分布での所定数の標準偏差）を用いて信頼性の基準を確立することもできる。このようなデータをシステムオペレータに視覚表示して、オペレータに対して所定の分析の信頼性を視覚表示することもできる。例えば、三角形60、62内に具体的恬として複数の既知化合物をライブラリーとし表示すると共に、Dalitz三角形をグラフの形で表示することもできる。積分時間の間に該システムで順次スペクトルを得て分析しつつ、関係ライブラリー点（化合物）にそれらが相対的に近いかどうかに基づいて三角形上に他の別個の点として表示することもできる。非常に多くの種類の異なった表示形式（表、棒グラフ、分散プロット等を含む）を用いて、所望の情報を伝達可能であるが、このような形

式のすべての作成方法及

び運転方法は、関連技術内で周知である。

【0043】

システム目盛り設定及び「有効数字」

次に、粒子活性化系検知／分析システムの有効性（「有効数字」）の測定及び同システムを目盛り付けを行うための改良方法を述べる。ここで、図16に言及して、発見時間定数を数学的に以下に定義する。

【数1】

$$T_d = C \frac{L_1^2 \times L_2^2}{M} \quad (\text{式2})$$

ここに、

$T_d$  = 発見時間定数（秒）

$L_1$  = ターゲットと化学品との距離（m）

$L_2$  = 2の検出装置と化学品との距離（m）

$M$  = 化学品の質量（Kg）

数値 $L_1$ と $L_2$ とは、立体角はシステムの検出装置に対するものなので2乗する。この時間定数は、所与量の化合物を粒子ソース（ターゲット）から所定の距離で化学的に特異的に同定するのに必要とされる時間であり、化合物と $\gamma$ 線検出装置との間の所与の距離は、上記Dalitz三角形60、62条の関連点についての所定の統計的信頼性レベルを有する。本方法700を実施する場合、化合物及び検出装置に対する対応する距離は測定あるいは計算するが、質量 $M$ は図16のステップ702で示すように決定する。次に、所望の信頼性レベルをステップ704で選択する。この信頼性レベルは、前述したように所定の試験インターバル間にシステムを順次稼働させる場合に生成するスペクトルデータを統計的に分析することによって、数学的に決定する。次に、既知量の所定の化合物をステップ706で分析して、この組の制約量に対する $T_d$ を実験的に決定する。次に、時間定数を随時標準化する。例えば、STPにおいて乾燥空气中検出装置／サンプルとの距離が1メートルで95%の信頼性レベルで1kgのサンプル化合物を同定するのに5秒必要とする可能性がある。所望により、名目値即ち「ベースライン」値を1秒に標準化

することができる。ステップ710と712とで、質量及び／または環境試験ファクター（例えば、該質量の化合物の位置、相対湿度等）を変えて、これらの新しい条件下で再度発見時間の測定をする。例えば、下でさらに述べるように、1つパラメータを変化増大させる場合、あるいは多数のパラメータを一度に変化させる場合に、これらのステップ710と712とを多数回繰り返すこともできる。次に、ステップ714でシステムに対する、関連づけファクターあるいは目盛り付けファクターを計算する。例えば、STPで乾燥空气中1kgの質量を用いてシステムを標準化した場合、（質量及び検出装置の幾何学的配列が同様であると仮定して）より低い温度での湿った空气中でシステムを稼動すると $T_d$ の値はより小さくなるであろう。次に、この数値の高い $T_d$ を公称 $T_d$ で格付けして、湿潤／低温環境でシステムを稼動する場合の補正ファクターを得る。変化するシステムパラメータ及び試験条件の関数としてシステムの応答性、あるいはパラメータの顕著な組み合わせを詳しく示す表あるいはカーブを構築することもできる。最後に、1) システムの「誤

プラス」率及び「誤マイナス」率（例えば、興味ある実際の化合物が存在する時に検出／同定を行わなかった場合）も含め、他の臨界的システムパラメータを実験的に決定してステップ716で既述した信頼性レベルと関連付ける。例えば、誤ったプラス率が信頼性レベル90%以下で実質的に増加する場合には、この数値をシステム稼動に対する最小の閾値として使用する。次に、対象物ある領域を検査する際にシステムの最小作動時間として、この信頼性レベルあるいはそれ以上の信頼性レベルを達成するのに必要とされる $T_d$ 値を特定する。

#### 【0044】

目盛り付け及びフィールドでの操作に関する上記用途に加えて、（所与の範囲での特定の試験条件下で）1つのシステムに対して実験的に得られた $T_d$ 値を他のシステムに対して得られた $T_d$ 値と比較して、化学的同定および位置決めを行う上での2つのシステムの相対的な有効性（メリット）を決定することもできる。この方法は、作動原理が異なる2つのシステムを比較するのを標準化する場合に非常に有益である。現在、比較システムはないので、製造業者が主張している性能を直接比較することはできない。種々の臨界的パラメータ（例えば、周囲の

温度、湿度、介在する遮蔽物等)の関数としてこのような「有効数字」(最小感度)を展開すれば、所定の試験あるいは分野での用途で適用するのに最良の装置／技法を決定する助けとなり得る。

#### 【0045】

上記詳細な説明を上で行ない、種々の実施態様に適用できるような本発明の基本的な新規な特徴を指摘したが、当業者であれば本発明の精神あるいは必須の特徴を外れることなく、説明した形式及び詳細事項について、種々の省略をしたり、置換及変更をすることは行いえることは理解されよう。上記実施態様は、あらゆる点で例示的なもので制限を意図するものではないと考えるべきである。従って、本発明の範囲は、上述の記載よりは請求の範囲によって指摘するものである。請求の範囲の均等の意味及び範囲内に入るすべての変更は請求項の範囲内に包含されるものとする。

#### 【0046】

##### 補遺A

##### A. 1 $\gamma$ 線エネルギー

高速中性子と種々の原子の原子核との非弾性衝突中に見られる $\gamma$ 線エネルギーのピークは、通常0.100ないし18MeVのエネルギー範囲にある。爆発物の検出での一般的な論点は、常に炭素、窒素および酸素といった爆発物の主要成分を検出することにあった。それゆえ、以下ではこうした構成元素の $\gamma$ 線スペクトルに絞って論ずることとする。しかし、この原理は、塩素、燐および硫黄を含む多くの他の元素にも潜在的に適用可能であることに留意すべきである。

HPGDは大きさと効率に限界があるので、検出可能な $\gamma$ 線エネルギーの上限が決まってしまう。例えば、45%効率のNタイプHPGDによる実験室での計測によれば、5.5ないし6.2MeVという上限は、6.129MeV付近のいかなる $\gamma$ 線ピークの使用をも妨げていた。それゆえ、 $\gamma$ 線エネルギーのピークを選択する処理は、6.2MeV以下を発する $\gamma$ 線カウントに限られていた。この検出装置を用いると、窒素の光電ピーク5.104は、49カウント $\pm$ 14を発生した。それと対比して、81%のNタイプ検出装置は7MeVのエネルギー上限となり、等価の5.104の窒素の光電ピーク(等価の中性子を用いて)で



197カウント±21を発生した。

検出装置の効率と大きさが、測定された $\gamma$ 線ピークの上限を決めてしまう一方、多様な物質を通過した $\gamma$ 線が吸収されることにより下限に影響を与える。 $\gamma$ 線の減衰は、検査材料の厚さ(Z)に比例する。さらに、土の測定の実験的データによれば、1.6 MeV以下の $\gamma$ 線をこの方法に用いることができない。それゆえ、 $\gamma$ 線のピーク選択の下限は、少なくとも一つには検査材料に固有のものであり、たいていの方法には1.6±0.5 MeVオーダである。

#### A. 2 断面積

$\gamma$ 線エネルギーの範囲を決めた後、1.6ないし7.2 MeVの範囲のどの $\gamma$ 線を分析に用いるのかを決めなければならない。この選択処理における主要なファクターの一つは、原子断面積である。

特定の $\gamma$ 線を誘導する確率は、各原子の原子核の結合力に依存している。この確率は、 $\gamma$ 線発生のための原子断面積、即ち(有効)サイズであり、バーン( $10^{-24}$  cm<sup>2</sup>)で計測される。炭素、窒素および酸素について確定した断面積は、炭素、窒素および酸素の原子の数の比を明らかにするために用いられる。

本分析に関して、炭素は幾分独特である。まず、炭素の $\gamma$ 崩壊の仕組みは、比較的単純である。1.6から7.2 MeVまでには、たった一つの光電ピーク(4.440 MeV)しかない。次に、4.440 MeVのピーク(14 MeV入射中性子)の断面積は、210.6 mb(非常に大きい)である。3つ目に、4.440 MeVのピークの断面積は、中性子が熱中性子化するにつれて、激的に増加する。8 MeVの入射中性子は445 mbの断面積をもつ。炭素の崩壊の仕組みは単純であるので、4.440 MeVの光電ピークを炭素のマーカーとして用いる。しかし、炭素の単純なスペクトルは、重要である。すなわち、炭素原子核の特性により、短時間のエネルギー状態を生み出す弾性衝突の間に反跳が起きる。ついで、光電ピークは±50 KeVの幅と幾分広い。そのため、炭素原子の正確な検出を行うには、4.340から4.540 MeVまでの検出が必要となる。

窒素および酸素は、1.6から7.2 MeVまでに多くの光電ピークを持つ。

6.129 MeVにおける酸素の光電ピークの断面積は、101 mbである。窒

素は、2. 312、3. 948および5. 104 MeVに、順に断面積7. 8、3. 5および31 mbの、3つの検出可能な光電ピークをもつ。検出可能な光電ピークの断面積の最小値は5 mbである（カスケードは、しばしば観測可能な光電ピークの断面積を増やす。下記のA. 3を参照）。

#### A. 3 カスケードと光電ピーク

従来のエネルギーレベルに加え、カスケード効果は、可能性のあるエネルギーピークの数を増やす。カスケード効果とは、最低のエネルギー状態への直接降下を起こすには不十分なエネルギーレベルを励起することである。その結果、励起エネルギー状態からより安定な状態への光子のシステマティック降下によりカスケードピークが起きる。例えば、2. 748 MeVの酸素カスケードは、8. 872 MeVの光電ピークの励起とそれに続く6. 129 MeVのエネルギーレベルへの降下により発生する。そして、光子は6. 129 MeV（第2光電ピーク）から基底状態に降下する。要するに、より高いエネルギーレベルでの励起状態は、より多くの $\gamma$ 線エネルギーピークを生み、それゆえ検出の可能性も増えるのである。

残念ながら、カスケード断面積のデータは入手が容易ではない。実験結果により、検出装置の効率と $\gamma$ 線吸収補正により光電ピークを正規化することにより、およその断面積が得られている。酸素については、 $H_2O$ の正規化スペクトルにより、およそのカスケード断面積が2. 748 MeVのピークで28 mbであることが説明がつく。

カスケードピークは、酸素と窒素の全スペクトルの50%以上を代表する。計数速度を最大にするために、1. 6ないし7. 2 MeVの範囲外の $\gamma$ エネルギーで扱う問題を避けるため、低い断面積ピークの使用を避けるため、最後に近接と重複の問題を回避するため、カスケードピークを利用するのは賢明である。

#### A. 4 近接と重なり合い

原子分析における最も重要なファクターの一つは、 $\gamma$ 線ピークの近接と重なり合いである。 $\gamma$ 線ピーク同志の近接には、単純に言って2つの場合がある。HPGe検出装置を用いる利点の一つとしては、622 KeVにおける分解能（0. 1%程度）が上がることである。例えば、HPGe検出装置は、5. 156 Me

Vのアルミニウム信号を5.104 MeVの窒素信号から分別することができる。NaI検出装置は、722 KeVでの分解能がおよそ10%であり、スペクトル中の多くのピークを識別できない。近接はHPGDの分解能力の増大を示すもので、識別能力のための重要な手段として扱われる。

重なり合いは、近接の極端な場合である。重なり合いの例としては、炭素の4.440 MeVピーク（ピーク幅が100 KeVであることを思い出すこと）に見ることができる。したがって、スペクトルのこの範囲にあるいかなる $\gamma$ ピークも、炭素信号中の誤差の原因となってしまう。最悪の場合は、窒素および酸素以外の元素との重なり合いである。アルミニウムは、4.411 MeVで4.9 mbの断面積である光電ピークを持つということに留意すべきである。

重なり合いがある可能性を読み取り、それを減法により取り除くために、スペクトル全体から得られる情報を活用することが重要である。重なり合いがこの3成分の元素による場合、余分な計数を減するための適切なアルゴリズムは容易に作られるであろう。まとめると、近接と重なり合いは、分析に用いるに最も「適切な」 $\gamma$ 信号を決めるのである。

#### A. 5 一重／二重エスケープピーク

どの $\gamma$ エネルギーを分析に使うかを定めるもう一つの重要な要因は、一重および二重エスケープピークの産出である。対生成とは、おおむね逆方向に511 KeV（0.5 MeV）の量子の付随放出を伴う電子／陽電子の崩壊の結果である。この作用は、結晶格子の行列内で発生し、検出装置の大きさの関数である。

最も突出した一重エスケープピークは、酸素の6.129 MeVピークから起きる。ひとつの鋭いピークが、0.511 MeV低い5.618 MeVに発生する。2つ目のエスケープピークも、1.022 MeV下方の5.107 MeVに発生する。同時に、5.104－5.107 ピークの窒素の光電ピークは、5.618 MeVのピークよりも強い。このことは、酸素同様窒素からの信号があるということの、明確な同定となる。

窒素のピークから2つ目の酸素のピークを除去するために、エスケープピークの効果的な断面積（選択した検出装置のみに固有なものである）を決めねばならない。出願人によるSiO<sub>2</sub>試験の実験結果に基にすると、第1および二重エス

ケープピークの断面積は、6. 129 MeVピークの70%および30%である。言い換えれば、5. 107 MeVの二重回避における正味のカウン数は、6. 129 MeVでの酸素が寄与して、6. 129 MeVでの酸素の光電ピークの正味のカウンの31%である。

【0047】

## 補遺B

### B. 1 ノイズ除去

定量的原子分析の重大な障害は、外部ノイズの除去である。Nには、試料や装置を取り巻く空気を含んだ様々な発生ソースがある。1 m<sup>3</sup>の空気には、925グラムの窒素と相当量の酸素が含まれる。

したがって、この「ノイズ」を取り扱う方法が必要なのである。まず、標識中性子により問われる空気の体積を決めなければならない。これには、仮想の長方形の箱が、問われる空気の体積を表すのに用いられる。より正確な測定には、発生ソースからの中性子の偏流を計算するために、長方形の代わりに円錐を用いる。この調査を別にすれば、体積の違いは、サンプルの大きさに比べれば小さく、長方形の体積を用いた概算で十分である。

正確にどれだけの窒素および酸素がデータに影響しているかを調べるには、長方形の容積を計算する必要がある。模範例としては、同時ゲートは持続時間6. 8 ns 間開く、即ち標的におよそ34. 5 cm（中性子の速度は毎秒5 cmである）で集中させた。標的は正確に1 m離れているので、長方形の長さは34. 5 cm——標的から+/- 1.7 cmであった。長方形の面積は、 $\alpha$ 検出装置の関数である。この種の実験に用いる $\alpha$ 検出装置は、44. 15 cm<sup>2</sup>の面積であった。1 mでの標識中性子の面積は、正確に44. 15 cm<sup>2</sup>である。したがって、問われる空気の総体積は、44. 15 cm<sup>2</sup> × 34. 5 cm = 152, 000 cm<sup>3</sup>である。

室温での乾燥空気の平均密度は、 $\rho = 0. 00121 \text{ g/cm}^3$ である。したがって、空気の重量は $0. 00121 \text{ g/cm}^3 \times 152, 000 = 178 \text{ g}$ と求められる。尿素試験のサンプル重量は分かっている（本例では5 kg）ので、「ノイズのモル数」に対する「サンプルのモル数」の割合を計算することもでき

る（空気の分子量は29 g／モル、尿素60.1 g／モル）。具体的には、6.87％である。

最後に、空気の結果より窒素と酸素のカウント数を求めるには、次式が用いられる（窒素の場合）。

$$\text{窒素の割合} = (\text{空気中の窒素のモル数}) / (\text{空気中の窒素のモル数} + \text{尿素中の窒素のモル数}) \times 100\% \quad (\text{式B. 1})$$

式B. 1は、窒素の補正值5.36％および酸素の補正值1.44％を与える。つまり、正味のピークカウントは、空気中の窒素および酸素からの外部信号を計算して補正しなければいけない。

ここまでで、各 $\gamma$ 線の同定は重要でないということに留意する。しかし、上記の補遺Aで述べたとおり、エスケープピークの重複に関連したいかなる $\gamma$ 線も特に気をつけて扱わなければならない。窒素の5.104ピークはこの例外である。更なる補正要素が、この信号と重複する酸素（二重回避）の割合を計算するために必要である。

【0048】

#### 補遺C

##### 1 検出装置効率の補正

相対検出装置効率（この効率は、特に選択したエネルギー値に関係する）の概念を説明する。本発明で、絶対効率の代わりに相対効率を用いる理由のひとつは、元素の定量的な比率のみが必要であって、あるものの完全な原子の構成が必要ではないからである。例えば、 $n$ （原子の密度）を完全に知らなくてもよい。その代わり、原子の密度の比を使うと、C:N:Oを検出装置効率が互いに関連する比率 $n_1$ から $n_2$ に置き換えることができる。表C. 1に80％NタイプHP Geの相対効率の実験的数値を示す。

【表1】

表 C. I.

検出装置のエネルギー(KeV)	80%効率	2300KeV との相対効率
1800	6.91E+01	0.14
2300	6.02E+01	1.00
4440	4.15E+01	1.46
5105	3.84E+01	1.57
6129	3.46E+01	1.74

表C. 1の相対効率は、2, 300 KeVの値を基にしている。例えば、2, 300 KeVから4, 400 KeVになると相対強度は45%増え、4, 400 KeVから5, 100 KeVになると9%増える。

【0049】

## 補遺D

## D. 1 バックグラウンドの除去——一般論

$\gamma$ ピークから定量的に原子情報を識別するために、バックグラウンドの除去手法およびアルゴリズムが考案されたというのは明らかである。バックグラウンドの除去で関心のある領域（「ROI」）は、問題にしている物質の特性に左右される。爆発物および薬の場合、この領域は、炭素、窒素および酸素の特定の $\gamma$ 標識線と重なり合わなければならない。 $\gamma$ スペクトル線、エスケープピークおよびカスケードの詳細な一覧は、本出願人が決定した。

## D. 2 方法

まず、ピークの上方（エネルギーの低い方）のバックグラウンドは、ROIの最初の3つのチャンネルの平均として計算される。このバックグラウンド点のチャンネル番号は、3つの点の真中のチャンネルである。ピークの下方（エネルギーの高い方）のバックグラウンドは、ROIの最後の3つのチャンネルの平均として計算される。このバックグラウンド点のチャンネル番号も、後者の3つの点の真中のチャンネルである。ピークの両側にある2つのバックグラウンド点、直線バックグラウンドの終点を形作る。よって、バックグラウンドは次式で与えられる。

【数2】

$$B = \left( \sum_{i=l}^{l+2} C_i + \sum_{i=h-2}^h C_i \right) \frac{h-l+1}{6} \quad (\text{式D. 1})$$

ここで、

B＝バックグランド面積

l＝ROIの下限

h＝ROIの上限

C<sub>i</sub>＝チャンネルiの体積

6＝使用したデータチャンネルの数（本実施態様では、両側に3つずつ）

面積（カウント）の総計は、次式によるROIを含んだ全チャンネルの総和である。

【数3】

$$A_s = \sum_{i=l}^h C_i \quad (\text{式D. 2})$$

ここで、

A<sub>s</sub>＝ROIの総カウント

l＝ROIの下限

h＝ROIの上限

C<sub>i</sub>＝チャンネルiの体積

調整した全面積は、ROIを含んだ全チャンネルの和で、次式によるバックグランドには用いない。

【数4】

$$A_{ag} = \sum_{i=l+3}^{h-3} C_i \quad (\text{式D. 3})$$

ここで、

A<sub>ag</sub>＝ROIの総カウント

l =ROI の下限

h =ROI の上限

C<sub>i</sub> =チャンネル i の体積

【数5】

$$A_n = A_{ag} - \frac{B(h-l-5)}{(h-l+1)} \quad (\text{式D. 4})$$

正味に調整した面積中の誤差は、調整した正味面積の誤差と調整したバックグラウンドの計量誤差の2乗を積算したものの平方根である。調整したバックグラウンドを計算するのに用いられたチャンネルの番号の調整したピーク幅の量によって、バックグラウンドの誤差が求められる。

【0050】

補遺E

本発明の原子量処理法全般を以下に述べる。

まず、 $\gamma$ 線の情報が、ピーク幅、位置およびエネルギーの平均値から集められる(補遺A)。次に、 $\gamma$ スペクトル線がバックグラウンドの除去のために体系的に選択される(補遺D)。各 $\gamma$ スペクトル線を、最小誤差が繰り返されるまで、様々な当てはめルーチンが行う。最後に、外部ノイズ、検出装置効率および $\gamma$ 減衰の補正がされる(補遺C)。

禁制物質の実験的処方をつまかなものにするために、前述のある元素のデータを、炭素と酸素の関係のように、以下の確立された公式により、別のものの $\gamma$ カウント数を関連させる。

【数6】

$$I_{\gamma} = F(\Delta\Omega) \sigma_n V \Gamma_{eff} \gamma_{abs} \nu_{abs} \quad (\text{式E. 1})$$

ここで、 $I_{\gamma}$  =  $\gamma$ 線強度 = ROI アルゴリズムを用いて、バックグラウンドの除去により計算された特定のエネルギー範囲での正味の $\gamma$ カウント。 $I_{\gamma}$  はチャンネルの設定番号により標準化される。すなわち、炭素 = 100、窒素および酸素 = 12。 $\Gamma_{eff}$ 、 $\gamma_{abs}$ 、 $\nu_{abs}$  は、順に検出装置効率、 $\gamma$ 粒子の減衰要素



および中性子の減衰要素であり、 $\sigma$ は断面積である。ここで、 $\Gamma_{eff}$ は、0.25mで検出装置により定まる立体角を含む（関連したIEEE標準に従う）。

中性子の数は、 $\alpha$ 粒子と中性子のカウント速度の比を用いて計算された。

【数7】

$$F = \frac{\alpha}{\text{sec}} \cdot \frac{130 \text{ neutrons}}{\alpha} = \# \text{ neutrons} \quad (\text{式E. 2})$$

F＝中性子フラックス（4 $\pi$ 内の中性子数）

【数8】

$$(\delta\Omega) = [\pi(D^2/4)] / (4\pi^2) = D^2 / 16L^2 \quad (\text{式E. 3})$$

( $\delta\Omega$ )＝目的物の(Solid r)、およびLは目的物の中性子源からの距離である。中性子を照射した原子の数は、

【数9】

$$\# \text{ atoms} = n \cdot V = \left( \frac{\text{atoms}}{\text{cm}^3} \right) \left( \frac{\text{Volume}}{1} \right) \quad (\text{式E. 4})$$

この場合、n＝原子密度、V＝体積である。原子密度と体積を掛けたものが原子数(n)である。

原子の情報が、同じ実験で他の元素についても必要となるので、共通要素であるF、( $\delta\Omega$ )および $V_{abs}$ を相殺することができる。式E. 1は要素を相殺して、次のように書きなおせる。

【数10】

$$I_r = \sigma n \Gamma_{eff} \gamma_{att} \quad (\text{式E. 5})$$

最後に、式E. 5をnについて解くと、

【数11】

$$n_{atoms} = \frac{[I_r]}{\left[ \sigma \Gamma_{eff} \cdot \frac{1}{\gamma_{att}} \right]} \quad (\text{式E. 6})$$

C : N : Oの比は、式E. 6を基に決められる。 $\gamma_{atten}$ は逆数である。な

ぜなら、その効果が2, 300 KeV以下の $\gamma$ 値を減らし、2, 300 KeV以上の値を増やすからである。E. 6は次のようにも表せる。

【数12】

$$n_{atoms} = \frac{[I_{\gamma} \cdot \gamma_{eff}]}{[\sigma \Gamma_{eff}]} \quad (\text{式E. 7})$$

$n_1$ を解くために、ノイズ補正值、効率補正值、および減衰補正值（それに炭素、窒素の断面積）を使うことができる。例えば、

$$\begin{aligned} n_{nitrogen} &= (76.5 \times 1.57) / (32 \times 1.31) & (\text{式E. 8}) \\ &= 2.06 \end{aligned}$$

同様に、

$$\begin{aligned} n_{carbon} &= (256 \times 1.24) / (210.6 \times 1.24) & (\text{式E. 9}) \\ &= 1.04 \end{aligned}$$

最後に、

$$\begin{aligned} n_{oxygen} &= (127 \times 1.41) / (101 \times 1.74) & (\text{式E. 10}) \\ &= 1.02 \end{aligned}$$

原子のデータを実験的化学式に直すために、元素の供給量を酸素の最低値（1.02）で割る。尿素の完全な実験的化学式は

$$C (1.04 / 1.02) = 1 \quad (\text{式E. 11})$$

$$N (2.06 / 1.02) = 2.02 \quad (\text{式E. 12})$$

$$O (1.02 / 1.02) = 1 \quad (\text{式E. 13})$$

ピーク当てはめアルゴリズムおよび誤差の伝播についての誤差値を用いると、誤差込みの尿素の完全な化学式は次のようになる。

$$\begin{aligned} C_{1.04 (\pm 0.09)} N_{2.02 (\pm 0.21)} O_{1.02 (\pm 0.48)} \\ (\text{式E. 14}) \end{aligned}$$

【0051】

補遺F

前述の通り、Dalitzプロット（または「A-プロット」）は、3次元情報、すなわち爆発物および他の禁制品の炭素、窒素および酸素の比についての2次元化

グラフ表示である。上述の図15aおよび15bを参照のこと。例えば、A-プロットは、 $\gamma$ 検出装置より得られ、正三角形の水平側からの垂直距離の自乗によって表される、窒素の標準化された原子密度、 $N' = N/(C+N+O)$ である。同様に、標準化された炭素の原子密度 $C'$  および酸素の原子密度 $O'$  は、三角形の他の2つの側からの垂直距離の自乗により表される。この情報は、次の手順（尿素を例に取り上げている）により、簡単にA-プロットに直すことができる。

実験的に求めた実験的処方= $C_1 N_{2.02} O_1$

炭素＝1

窒素＝2.02

酸素＝1

合計＝4.02

比率 $C' = C/(C+N+O)$  (式F.1)

$C' = .248$

$N' = .502$

$O' = .248$

比率の自乗 : (式F.2)

$C'^{(2)} = 0.0618$

$N'^{(2)} = 0.252$

$O'^{(2)} = 0.0618$

自乗の和 ( $h^2$ ) : (式F.3)

$h^2 = 0.376$

各元素の自乗を合計の自乗で割ったもの= $Y_x$ : (式F.4)

$Y_c = C^2/C^2+N^2+O^2 = 0.164$

$Y_n = 0.671$

$Y_o = 0.164$

標準化した自乗長さ $L_c$ : (式F.5)

$L_c = C'^{(2)}/h^2 = 0.164$

$Y_n = 0.671$

$Y_o = 0.164$

ダリッツプロットにおける尿素[107]のXおよびY値: (式F.6)

$$X = .577350 * (Y_n + (2Y_c)) = 0.57735$$

$$Y = L_n = 0.671$$

したがって、ダリッツプロットの境界は:

$$(0, 0) \quad (\text{式F.7})$$

$$(.57735, 1) \quad (\text{式F.8})$$

$$(1.1547, 0) \quad (\text{式F.9})$$

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の化合物検出および分析装置の最初の実施態様の側面図である。

【図2 a】 本発明の装置を空港の手荷物取扱車の検査に適用した場合の斜視図である。

【図2 b】 本発明の装置を地上走行車に適用した場合の斜視図である。

【図3】 本発明における $\alpha$ 粒子検出装置列の最初の実施態様の斜視図である。

【図4】 複数の標的と印加磁場を用いた、本発明の化合物検出および分析装置の第2の実施態様の側面図である。

【図5】 複数の標的と単一の空間的に広がったビームとを用いた、本発明の化合物検出および分析装置の第3の実施態様の側面図である。

【図6】 本発明における2元中性子放射化装置の斜視図である。

【図7】 地上走行車に取り付けると、地雷や埋設した爆発物の検出に有用と思われる、本発明の化合物検出および分析装置の第4の実施態様の斜視図である。

【図8】 本発明の $\gamma$ 線スペクトルのアナログーデジタル変換およびフィルタ処理の一実施態様を表したブロック図である。

【図9】 従来技術による典型的高速中性子の放射化検出装置により得られる即発 $\gamma$ 線放射スペクトルである。

【図10】 高速中性子を尿素試験の試料に照射し、40ナノ秒でゲート制御したゲルマニウム結晶検出装置を用いて即発 $\gamma$ 線放射を検出することによって得られた、即発 $\gamma$ 線放射スペクトル（バックグラウンドは取り除いてある）である。

【図11】 高速中性子を尿素試験の試料に照射し、約6ナノ秒でゲート制御し

たゲルマニウム結晶検出装置を用いて即発 $\gamma$ 線放射を検出することによって得られた、即発 $\gamma$ 線放射スペクトル（バックグラウンドは取り除いてない）である。

【図12a】 本発明の化学的同定法の一実施態様の一部として分析した、ピークおよび3つの別の帯域を示した即発 $\gamma$ 線スペクトルの例である。

【図12b】 本発明の化学的同定法の一実施態様の一部として分析した、ピークおよび3つの別の帯域を示した即発 $\gamma$ 線スペクトルの例である。

【図13】 本発明における $\gamma$ 線事象の立上がり時間を測定した方法を表したグラフである。

【図14】 いくつかの一般的な化合物の相対的構成元素と濃度を表したデジタル化したスペクトルの棒グラフである。

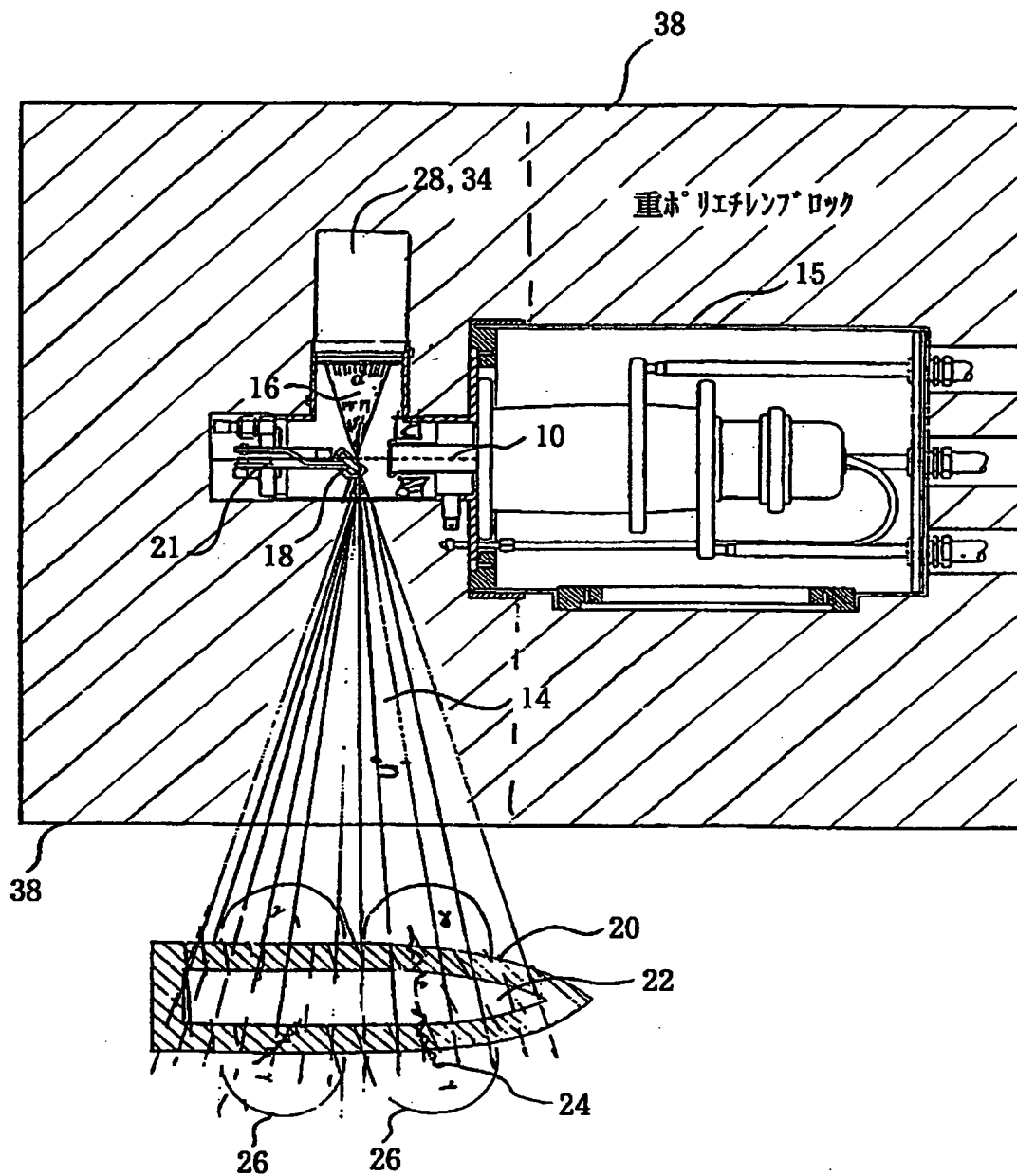
【図15a】 順にC:H:O、C:N:OのDalitzの三角形の図であり、一般的な化合物との相違を示す。

【図15b】 順にC:H:O、C:N:OのDalitzの三角形の図であり、一般的な化合物との相違を示す。

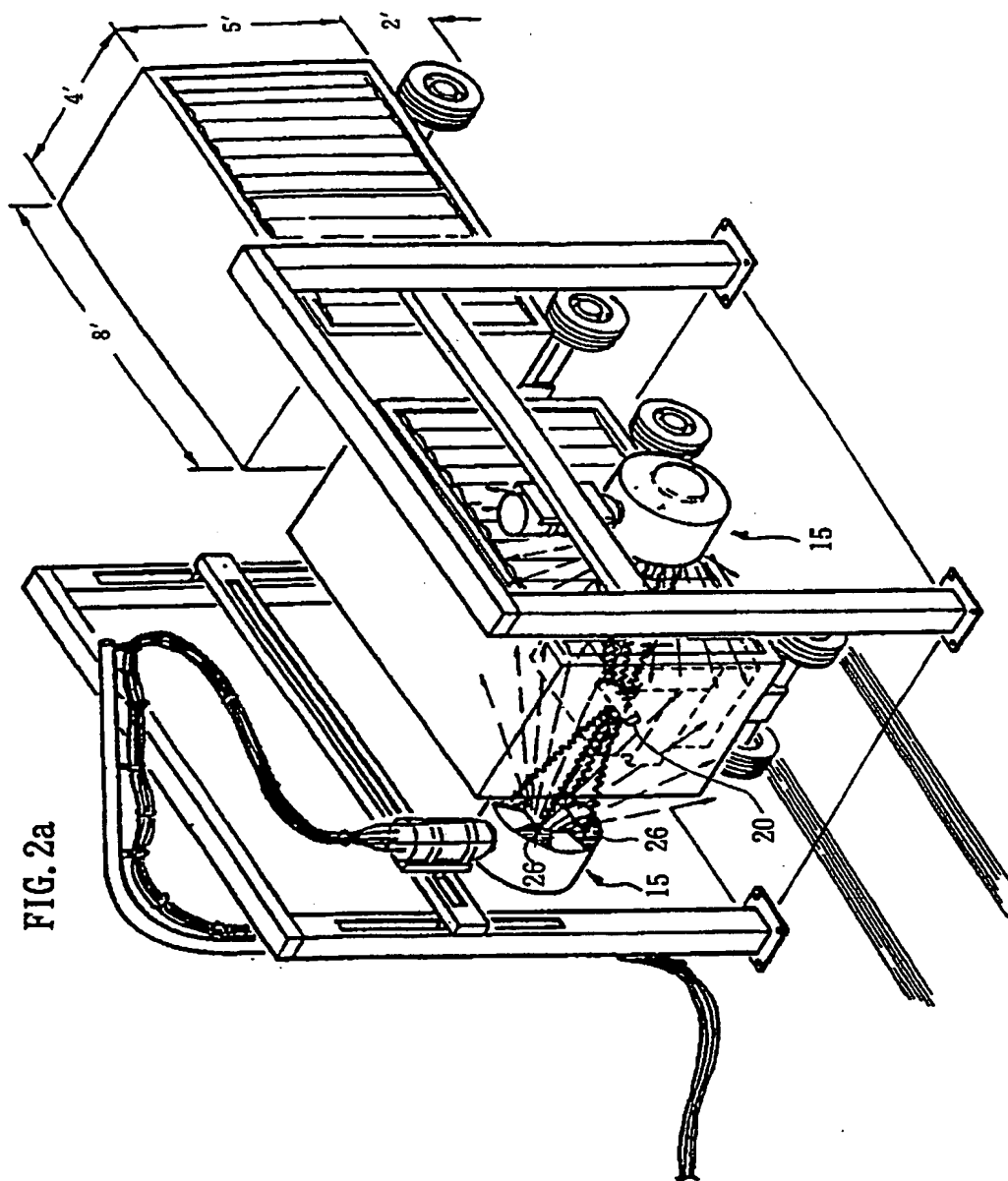
【図16】 本発明で開示した発見時間定数 $T_d$ を使って、FNA装置を評価および目盛り付けを行うための方法のブロック図である。

【書類名】 図面

【図1】



【図 2 a】

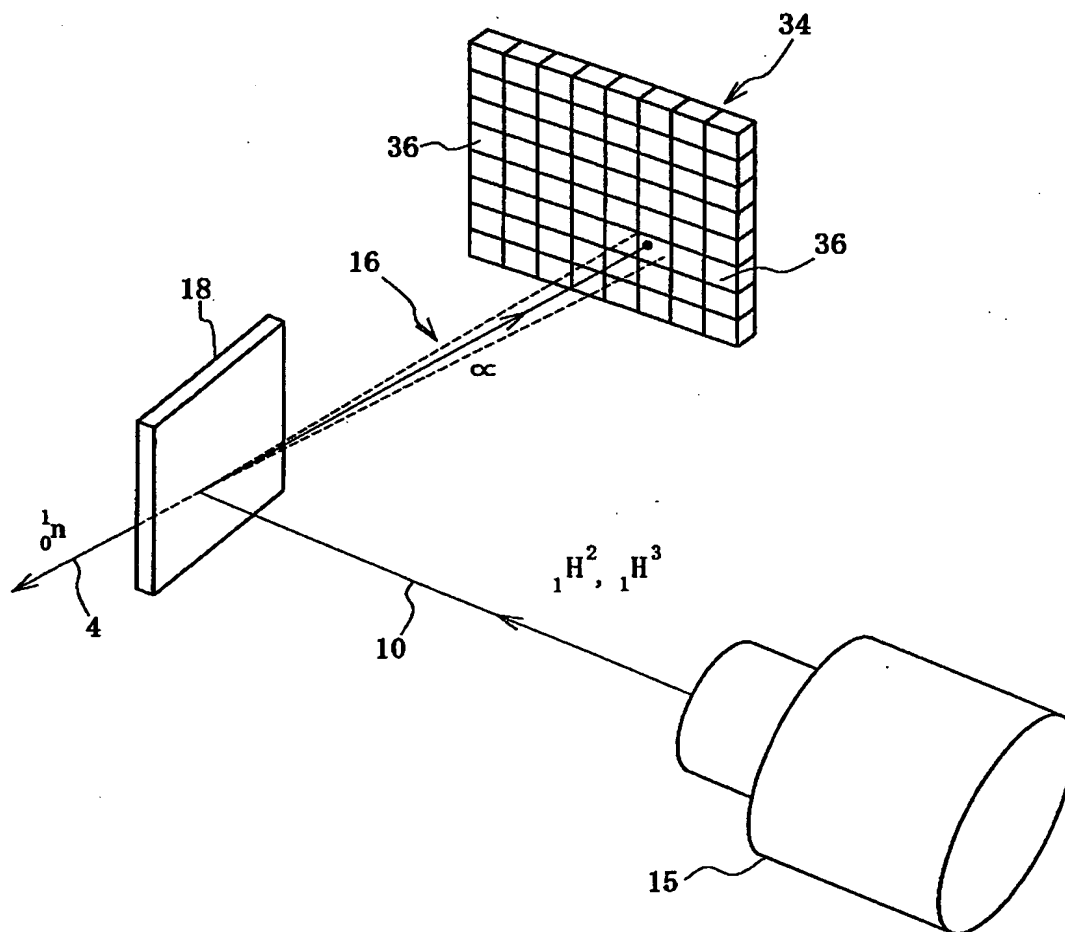






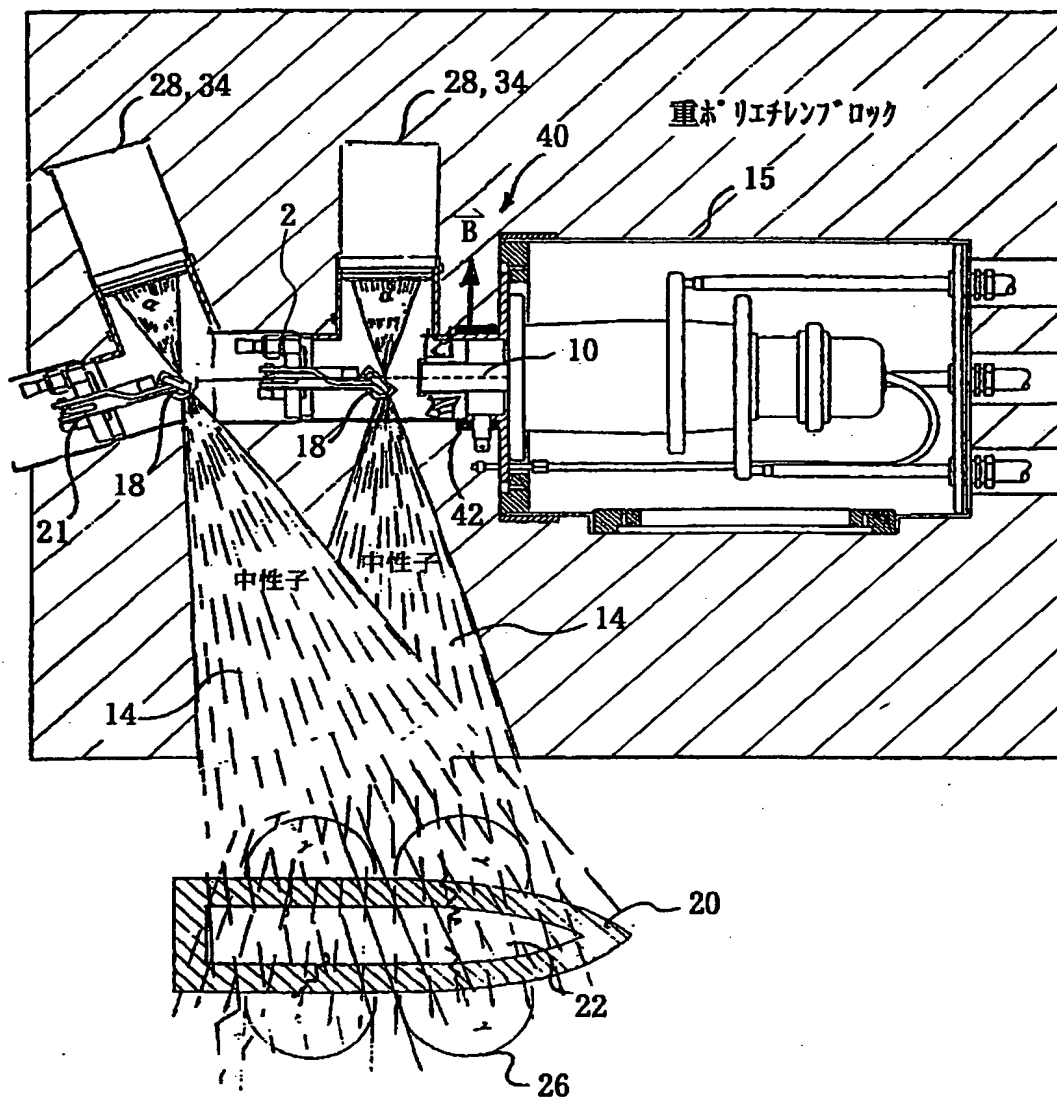
【図3】

FIG. 3



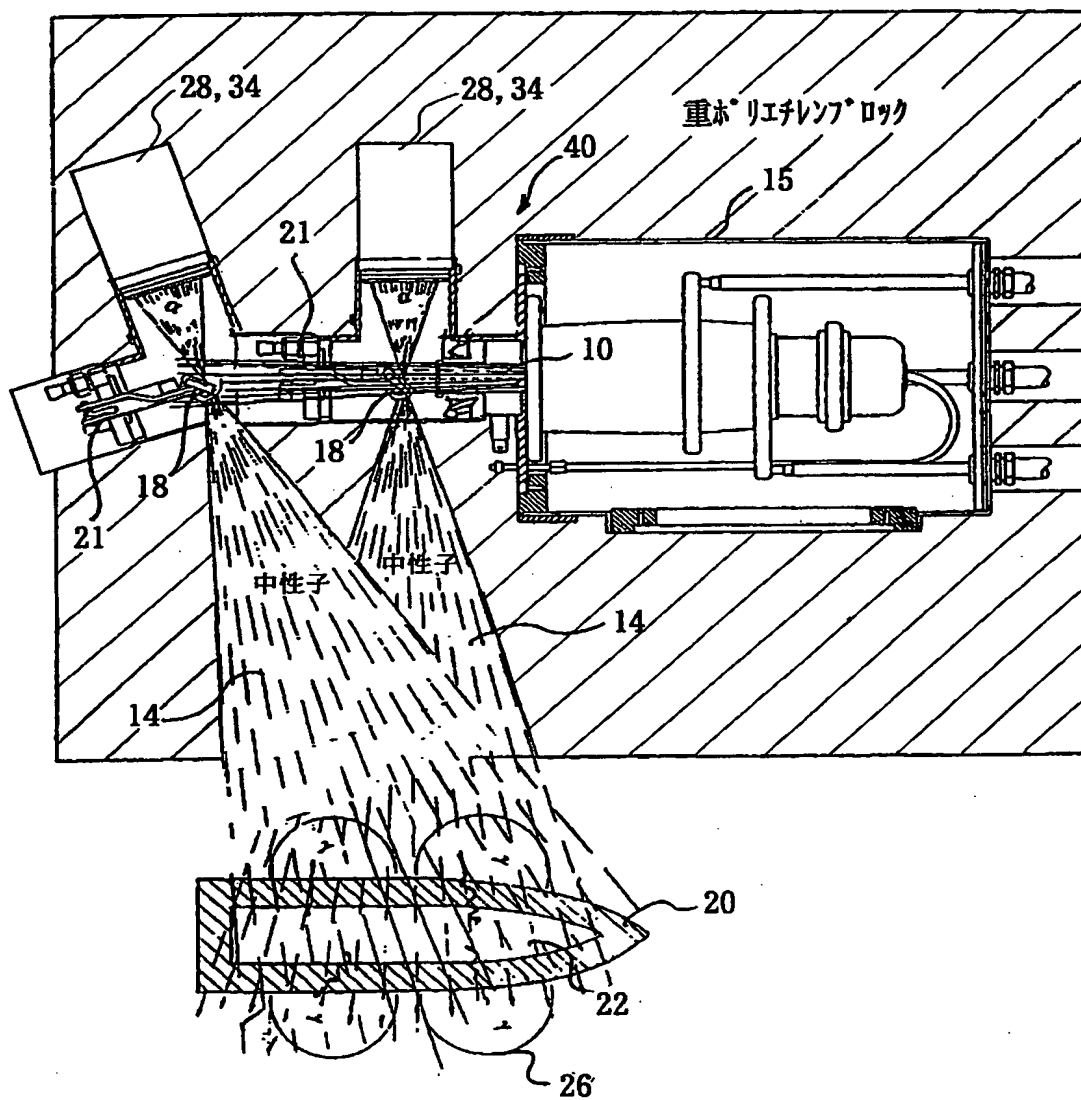
【図4】

FIG. 4



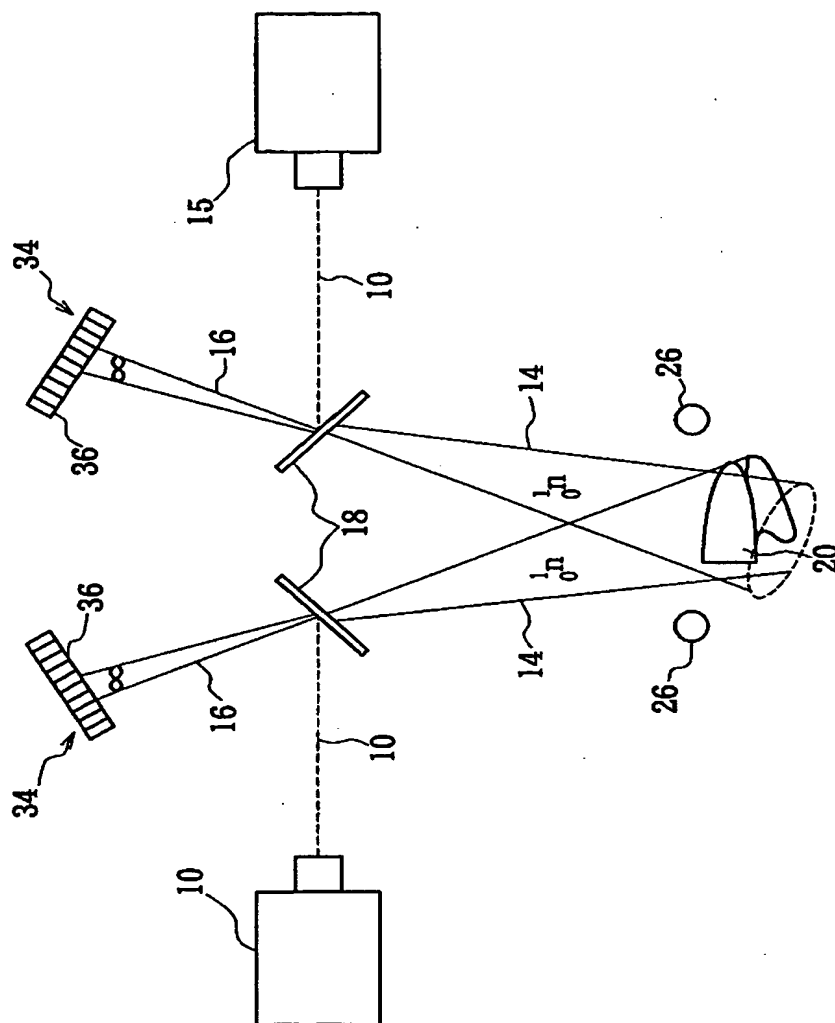
【図5】

FIG. 5

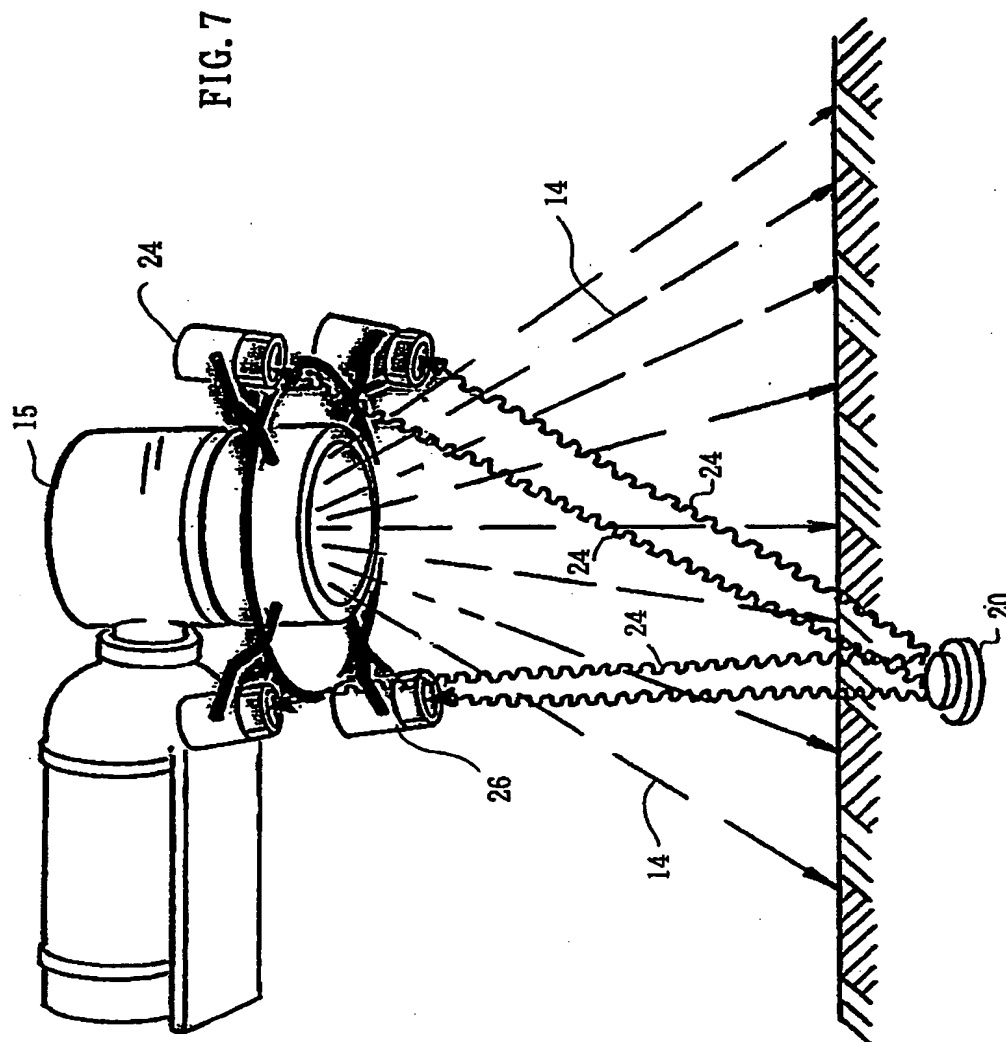


【図6】

FIG. 6

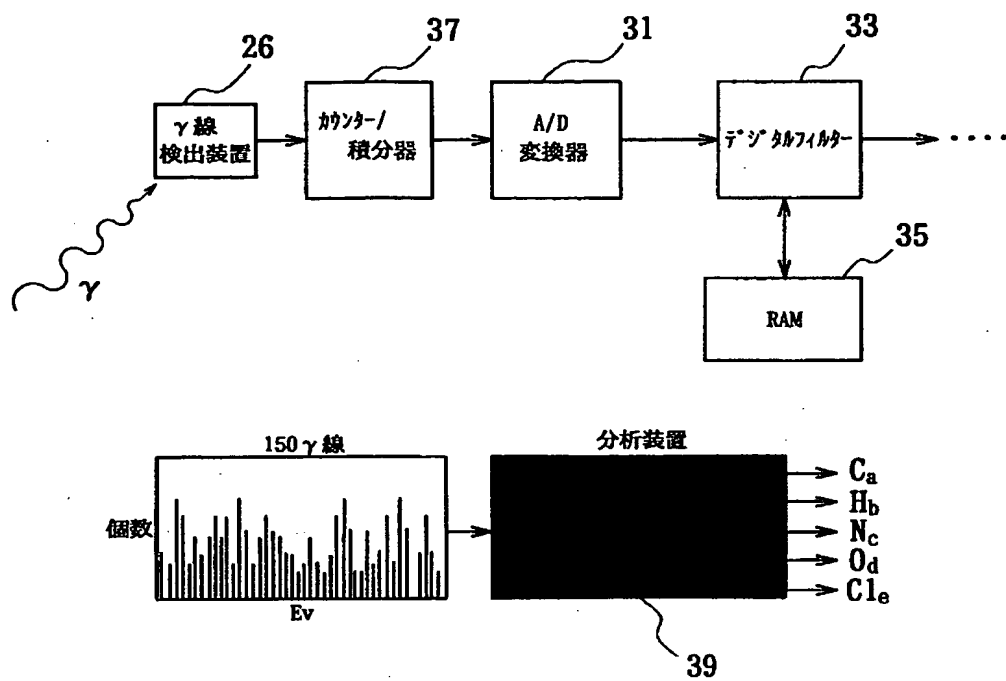


【図7】



【図8】

FIG. 8



【図9】

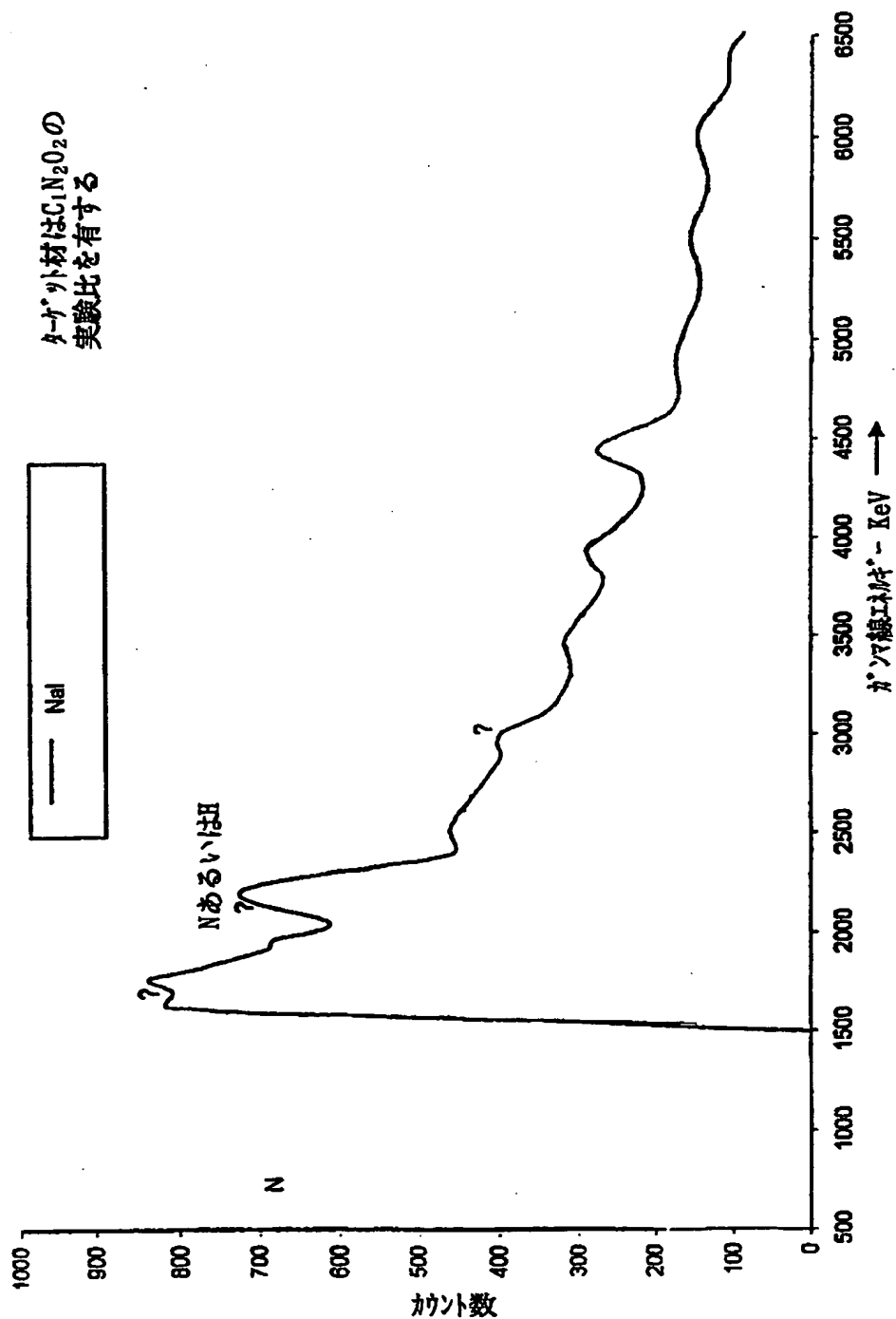


FIG.9

【図10】

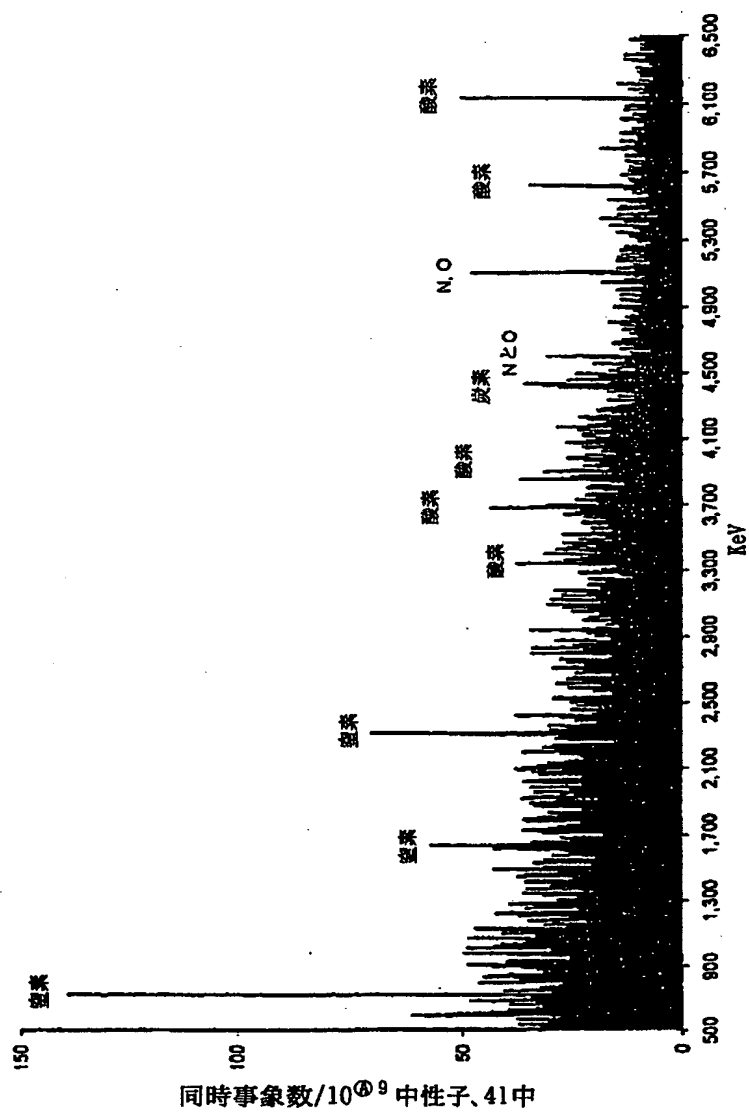


FIG.10



【図11】

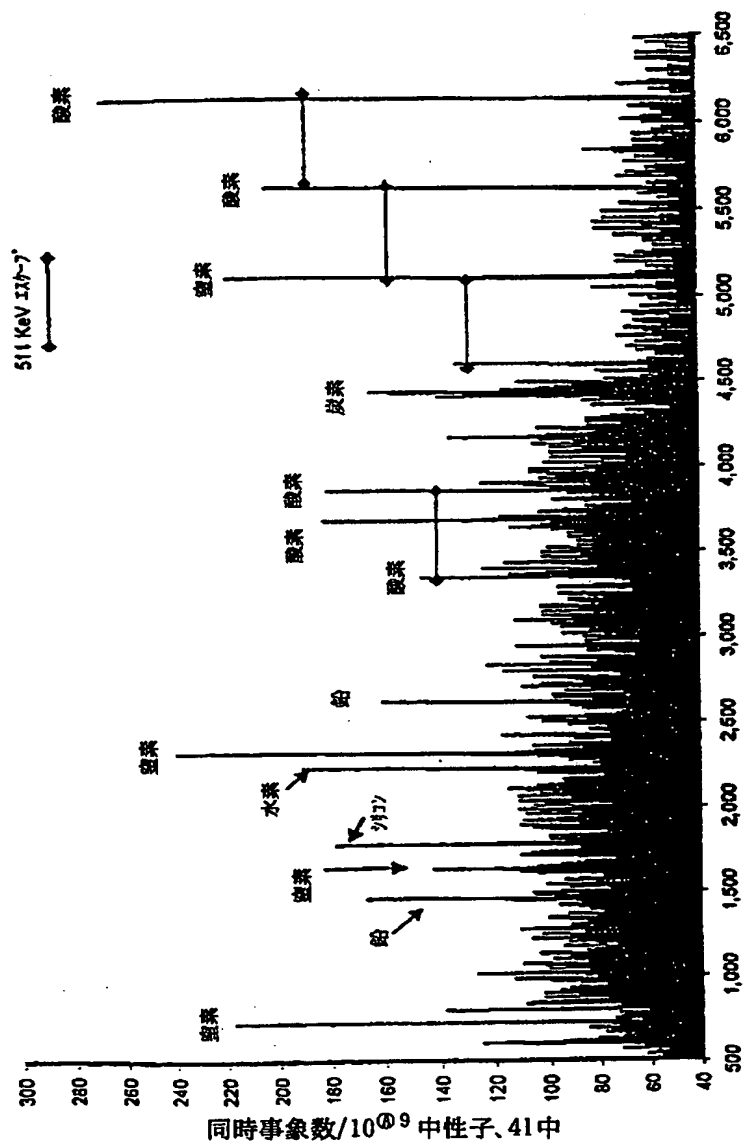
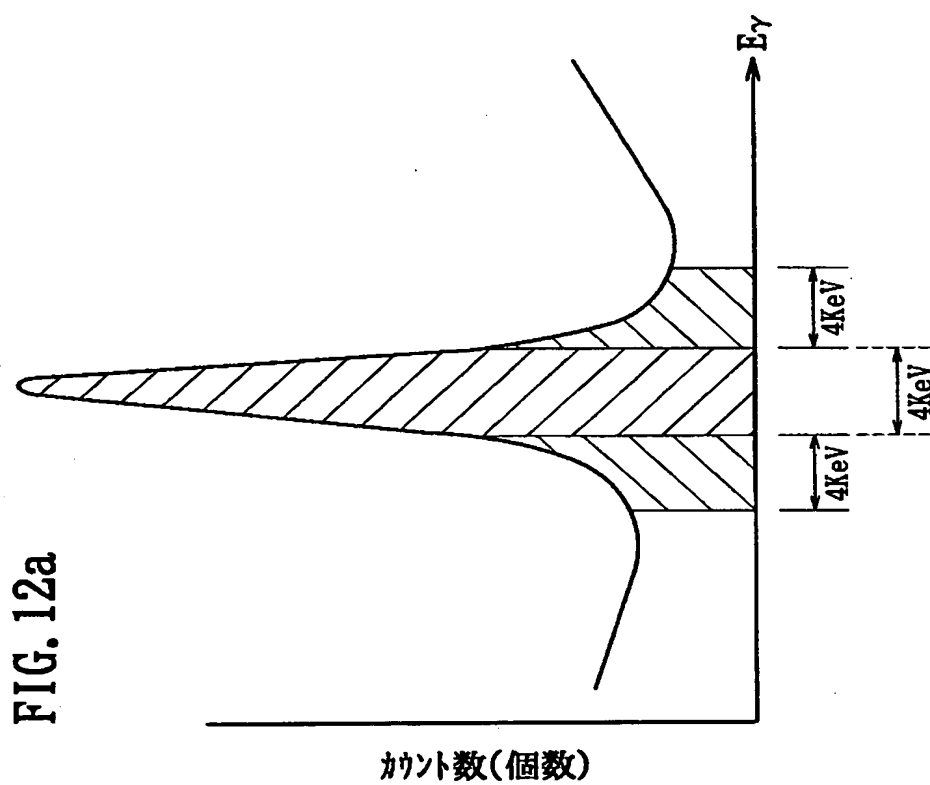


FIG.11

【図12a】



【図12b】

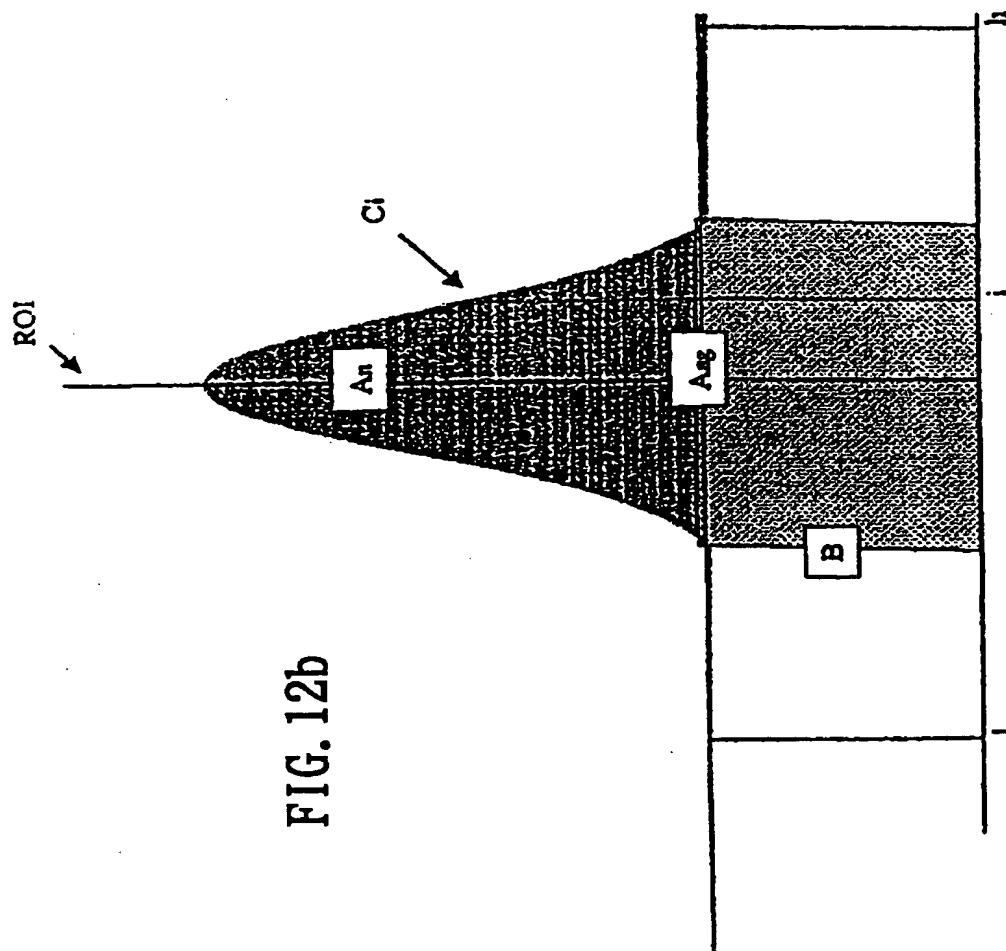
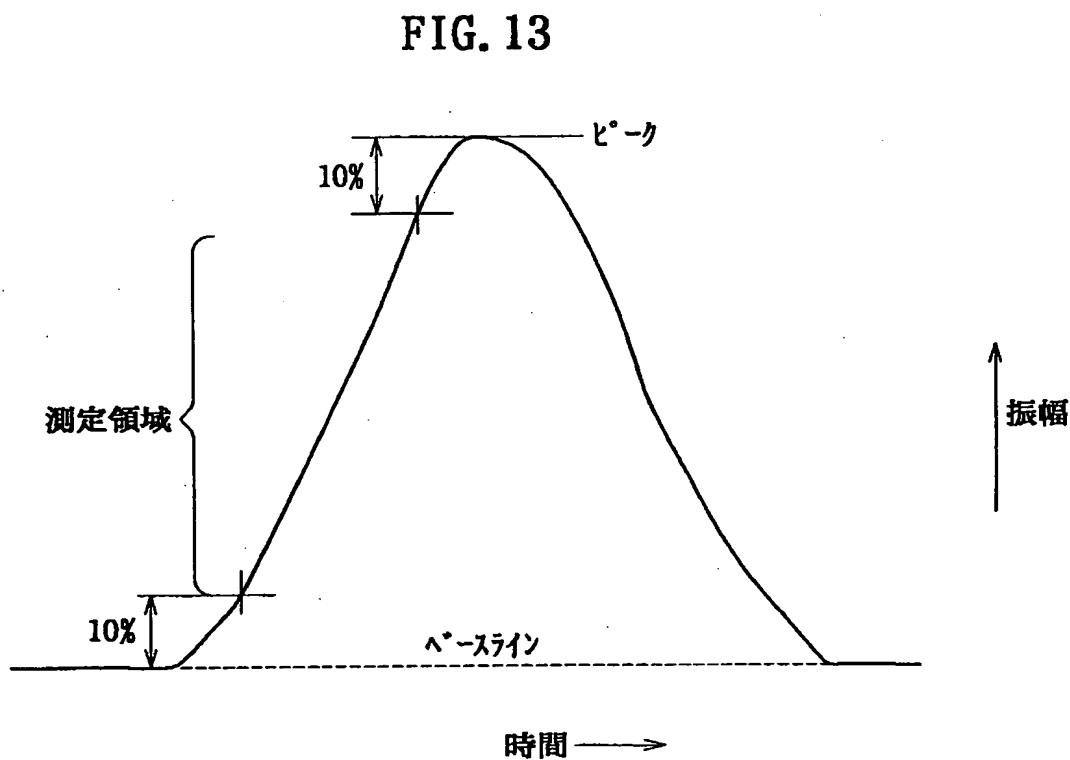
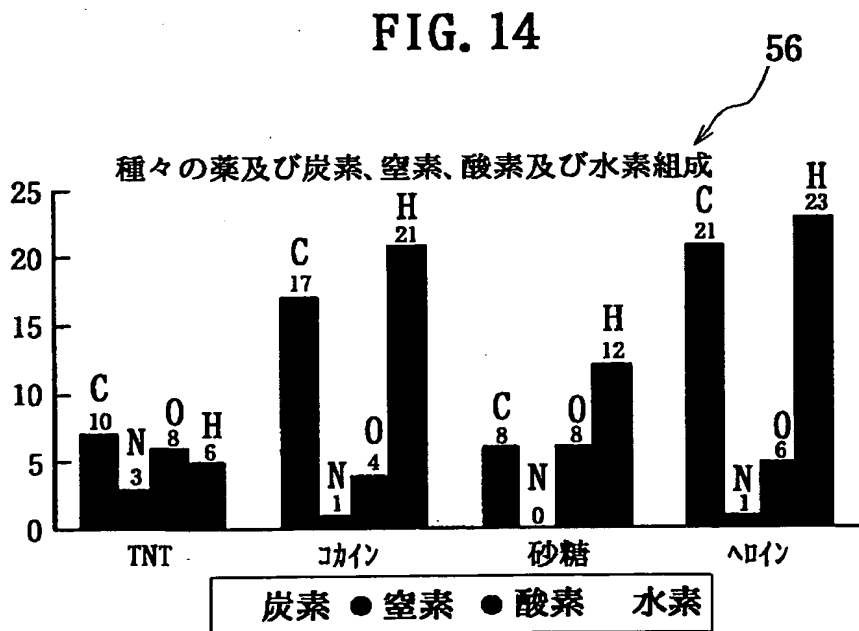


FIG. 12b

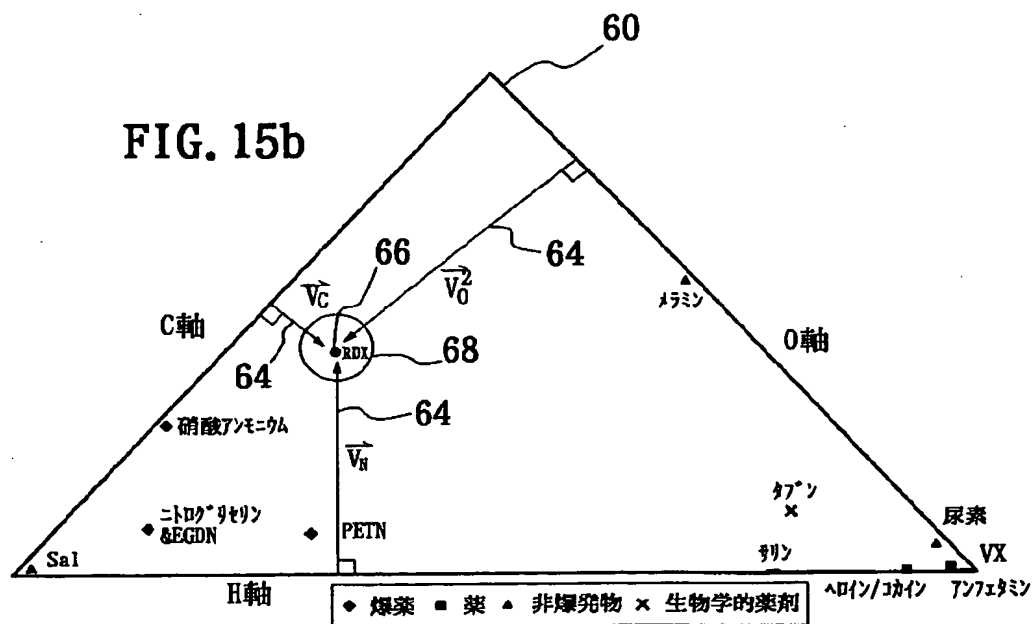
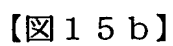
【図13】



【図14】

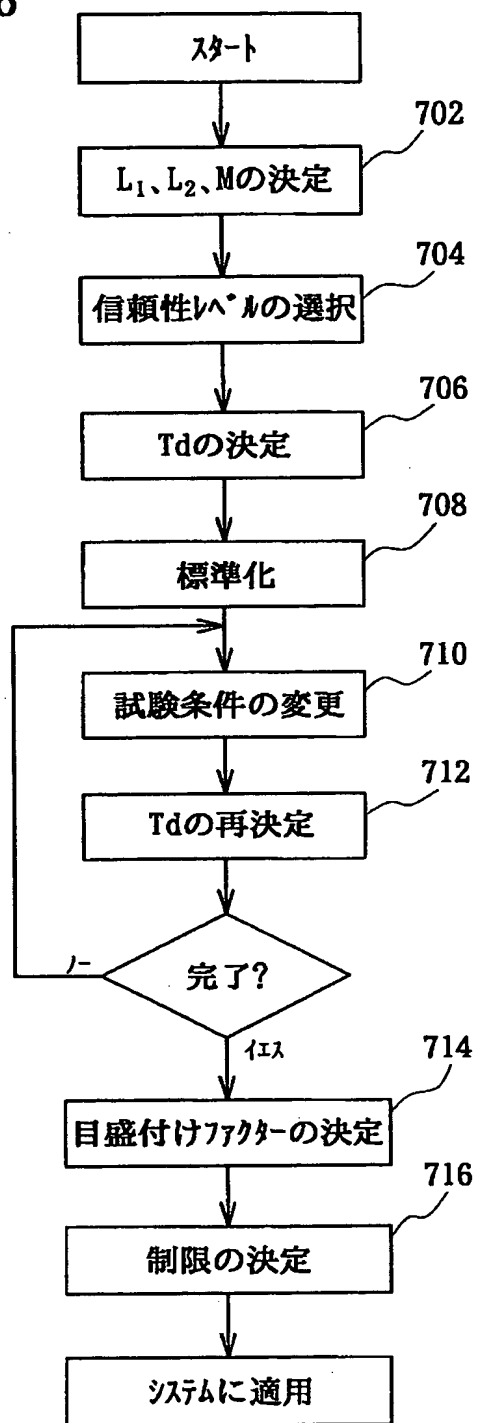


**FIG. 15a**



【図16】

FIG. 16



【書類名】 要約書

## 【要約】

重原子粒子の放射化を用いた、試験対象内にある化合物の検出、位置決めおよび分析の装置および方法。励起ソースは、ある重原子種、例えば高速中性子およびアルファ粒子を含んだビームを同時に生成するために、標的を励起する。該試験対象（化合物を含む）に高速中性子を照射し、それによって迅速ガンマ線の放射を促す。実質的に同時に放射される迅速ガンマ線およびアルファ粒子を検出するために、ガンマ線およびアルファ線検出装置を試験対象および標的に相対して置き、該線間の既知の物理的関係を放射化された化合物の空間的位置決め用いる。ガンマ線検出装置より得られたエネルギースペクトルは、全ての無関係なスペクトルの人為的影響を除去するためにフィルタにかける。それにより、

1) 複数の平行同時チャンネルの作成を可能とし、2) それに続く必要な信号処理を減らし、3) 化合物同定および分析の処理の総合的な精度と効率を上げる。より正確な空間的位置決めのための、多ビーム／多標的の実施態様も開示した。さらに、多様な試験要素下での装置の効率を測定し評価する方法を開示した。